

HERIKA PAULA PESSOA

**LINHAGENS DE INTROGRESSÃO DERIVADAS DE *Solanum pennellii*:
TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO DURANTE A GERMINAÇÃO E NO
ESTÁDIO DE PLÂNTULA**

Dissertação apresentada a Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2018

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

Pessoa, Herika Paula, 1993-

P475L Linhagens de introgressão derivadas de *Solanum pennellii* :
2018 tolerância ao déficit hídrico durante a germinação e no estágio de
plântula / Herika Paula Pessoa. – Viçosa, MG, 2018.
vi, 55 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Carlos Nick Gomes.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 47-55.

1. Tomate - Semente. 2. Tomate - Melhoramento genético.
3. Germinação. 4. Plântulas. 5. Plantas - Relações hídricas.
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia.
Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 635.642

HERIKA PAULA PESSOA

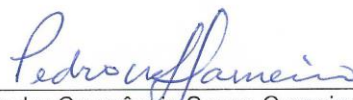
**LINHAGENS DE INTROGRESSÃO DERIVADAS DE *Solanum pennellii*:
TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO DURANTE A GERMINAÇÃO E NO
ESTÁDIO DE PLÂNTULA**

Dissertação apresentada a Universidade Federal de Viçosa como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 23 de fevereiro de 2018.



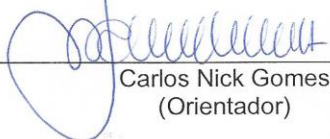
Laércio Júnio da Silva
(Coorientador)



Pedro Crescêncio Souza Carneiro
(Coorientador)



Fabiana Silva de Souza



Carlos Nick Gomes
(Orientador)

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Efeito do déficit hídrico induzido pela solução de PEG 6000 (-0,3 MPa) sobre a característica primeira contagem de germinação (PCG) para os 50 genótipos avaliados.	17
Figura 2: Efeito do déficit hídrico induzido pela solução de PEG 6000 (-0,3 MPa) sobre a característica % de germinação (G) para os 50 genótipos avaliados. ...	18
Figura 3: Efeito do déficit hídrico induzido pela solução de PEG 6000 (-0,3 MPa) sobre a característica índice de velocidade de germinação (IVG) bpara os 50 genótipos avaliados.	17
Figura 4: Efeito do déficit hídrico induzido pela solução de PEG 6000 (-0,3 MPa) sobre a característica tempo de germinação de 50 % (T50) das sementes para os 50 genótipos avaliados.	18
Figura 5: Efeito do déficit hídrico induzido pela solução de PEG 6000 (-0,3 MPa) sobre a taxa de germinação (TG) para os 50 genótipos avaliados.....	19
Figura 6:Efeito do déficit hídrico induzido pela solução de PEG 6000 (-0,3 MPa) sobre a característica comprimento de parte aérea (CPA) para os 50 genótipos avaliados.....	20
Figura 7: Efeito do déficit hídrico induzido pela solução de PEG 6000 (-0,3 MPa) sobre acaracterística comprimento de radícula para os 50 genótipos avaliados.	20
Figura 8: Efeito do déficit hídrico induzido pela solução de PEG 6000 (-0,3 MPa) sobre a característica comprimento total para os 50 genótipos avaliados.....	21
Figura 9: Mapa de calor das características avaliadas sob indução de déficit hídrico comparando os demais genótipos a cultivar M-82. Seções em brancos ou de cor pálida, indicam que a substituição do segmento cromossômico não exerceu grande efeito sobre a característica. Regiões em vermelho ou azul indicam acréscimo ou redução da característica após a introgressão de segmentos de <i>S. pennellii</i> (LA716) respectivamente. PCG = Primeira contagem de germinação, G= porcentagem final de germinação, IVG= índice de velocidade de germinação. T50 = Tempo para germinação de 50 % das sementes, TG= Taxa de germinação. CA= Comprimento da parte aérea, CR= comprimento da radícula, CT = comprimento total.	22
Figura 10: Agrupamento das características em fatores para os dados de razão e diferença quando analisados individualmente e em conjunto. d=variável obtida pela diferença, r= variável obtida pela razão, PCG= porcentagem da primeira contagem de germinação, IVG= índice de velocidade de germinação, G= porcentagem final de germinação, T50= tempo médio para germinação de 50 % das sementes, TG= taxa de germinação, CR= comprimento da radícula, CA= comprimento da parte aérea e CT= comprimento total. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Lista dos genótipos utilizados com a codificação adotada nesse trabalho e sua identificação. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.....	9
Tabela 2: Resumo da análise de variância da porcentagem da primeira contagem de germinação (%PCG), índice de velocidade de germinação (IVG), porcentagem final de germinação (G), tempo médio para germinação de 50 % das sementes (T50), taxa de germinação (TG), comprimento da radícula (CR), comprimento da parte aérea (CPA), e comprimento total (CT), dos 50 genótipos avaliados. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.....	16
Tabela 3: Comparação entre as linhagens avaliadas e os controles LA716 (padrão de tolerância), e M-82 e Santa Clara (padrões de sensibilidade para as variáveis de germinação. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.....	24
Tabela 4: Comparação entre as linhagens avaliadas e os controles LA716 (padrão de tolerância), e M-82 e Santa Clara (padrões de sensibilidade para as variáveis de germinação. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.....	25
Tabela 5: Comparação entre as linhagens avaliadas e os controles LA716 (padrão de tolerância), e M-82 e Santa Clara (padrões de sensibilidade para as variáveis de germinação. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.	25
Tabela 6: Autovalores estimados pela análise de componentes principais e proporção da variância explicados por eles utilizando os dados de razão e diferença juntos e separados. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.	28
Tabela 7: Cargas fatoriais após a rotação varimax e comunalidade para os dados de razão e diferença avaliados juntos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.	29
Tabela 8: Cargas fatoriais após a rotação varimax e comunalidade para os dados de razão. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.	29
Tabela 9: Cargas fatoriais após a rotação varimax e comunalidade para os dados de diferença. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.....	30
Tabela 10: Ideótipos projetados com base na combinação de fatores desejáveis e indesejáveis, de acordo com o objetivo da seleção utilizando dois fatores. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.....	30
Tabela 11: Ranking dos 50 genótipos (Gen.), de acordo com o índice FAI-BLUP e a probabilidade de distância do genótipo ao ideótipo (Pro.) para os dados de razão. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.	33
Tabela 12: Ranking dos 50 genótipos (Gen.), de acordo com o índice FAI-BLUP e a probabilidade de distância do genótipo ao ideótipo (Pro.) para os dados de diferença. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.	34
Tabela 13: Agrupamento dos genótipos utilizando razão e diferença. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.....	35

RESUMO

PESSOA, Herika Paula, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2018. **Linhagens de introgressão derivadas de *Solanum pennellii*: Tolerância ao déficit hídrico durante a germinação e no estágio de plântula.** Orientador: Carlos Nick Gomes. Coorientadores: Laércio Júnio da Silva e Pedro Crescêncio Souza Carneiro.

A espécie silvestre próxima ao tomateiro *Solanum pennellii* é tolerante ao déficit hídrico. Esse trabalho teve como objetivo identificar linhagens de introgressão (ILs), derivadas de *S. pennellii*, tolerantes ao déficit hídrico durante a germinação e avaliar a eficiência de duas metodologias para discriminação de genótipos tolerantes e sensíveis ao déficit hídrico. Foram utilizadas 47 ILs, o acesso LA716, padrão de tolerância e as cultivares M-82 e Santa Clara, padrões de sensibilidade. Sementes desses genótipos foram submetidas a teste de germinação sob déficit hídrico induzido por solução de PEG 6000 (-0,3 MPa). Foram avaliadas as variáveis, comprimento de radícula, comprimento de parte aérea, comprimento total, porcentagem de germinação na primeira contagem, porcentagem final de germinação, índice de velocidade de germinação, tempo para 50% da germinação máxima e taxa de germinação. O desempenho dos genótipos na presença e ausência de déficit hídrico foi comparado por meio da razão e diferença entre os dados obtidos na condição controle e na condição com PEG. Os dados de razão e diferença foram submetidos a análise de fatores para agrupamento das variáveis e dos genótipos. O índice FAI-BLUP foi utilizado para ranquear os genótipos. A análise de fatores agrupou as variáveis em três fatores, um com as características de germinação e outros dois com as características de comprimento da plântula, indicando que o déficit hídrico atua de maneira diferente sobre esses dois fenômenos. O agrupamento e ranqueamento dos genótipos com base nos dados de razão foram coerentes, indicando que essa é a melhor maneira para comparar o desempenho dos genótipos e inferir sobre sua tolerância ao déficit hídrico. Considerando uma intensidade de seleção de 15% as linhagens selecionadas pelo índice FAI-BLUP com os dados de razão foram IL 1-4-18, IL 2-3, IL 1-2, IL 9-2 e IL 10-1. Logo, fragmentos de *S. pennellii* introgrididos nos cromossomos 1, 2, 9 e 10 condicionam a tolerância ao déficit hídrico durante a germinação.

ABSTRACT

PESSOA, Herika Paula, M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, February, 2018. ***Solanum pennellii* introgression lines: Drought tolerance at seedling and early development stages.** Advisor: Carlos Nick Gomes. Co-Advisors: Laercio Junio da Silva and Pedro Crescêncio Souza Carneiro.

The tomato wild specie *Solanum pennellii* is drought tolerant. This work aimed to identify introgression lines (ILs), derived from *S. pennellii*, drought tolerant at germination stage. It was also evaluated the efficiency of two methodologies to discriminate tolerant and sensitive genotypes. They were utilized 50 genotypes, 48 ILs, the LA716 access (tolerat) and the varieties M-82 and Santa Clara (sensitives). The seeds were submitted to a germination test under water déficit induced by PEG 6000 solution (-0.3MPa). They were measured, root length, shoot length, total length, germination % at first count, germination %, germination index, time to 50% of the maximum germination and germination rate. The genotypes performance under presence and absence of water déficit was compared by means of ratio and difference between the data obtained in the control condition and the PEG condition. The reason and difference data were submitted to factor analysis to group variables and genotypes. The FAI-BLUP index was used to rank the genotypes. The factors analysis grouped the variables in three factors, one with seedling length characteristics and two others with germination characteristics, indicating that water déficit acts differently on these two phenomena. The grouping and ranking of the genotypes based on the ratio data is consistent, indicating that this is the better way to compare the genotypes performance and to infer their drought tolerance. Using a selection intensity of 15% the selected lines using the FAI-BLUP with the ratio data were: IL 1-4-18, IL 2-3, IL 1-2, IL 9-2 and IL 10-1. Therefore, *S. pennellii* fragments introgressed in chromosomes 1, 3, 9 and 10 condition drought tolerance at germination stage.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 Tomateiro: generalidades	3
2.2 Tomateiro e o déficit hídrico.....	3
2.3 <i>Solanum pennellii</i> como fonte de alelos de tolerância ao déficit hídrico	4
2.4 Linhagens de Introgressão (IL's) de <i>S. pennellii</i>	5
2.5 Influência do déficit hídrico sobre a germinação.....	5
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	8
3.1 Recursos Fitogenéticos	8
3.2 Germinação sob déficit hídrico	10
3.3 Características avaliadas.....	10
3.3.1 Primeira contagem de germinação (PCG)	10
3.3.2 Índice de velocidade de germinação	10
3.3.3 Germinação (G).....	11
3.3.4 Tempo para 50 % da germinação máxima (T50)	11
3.3.5 Taxa de germinação (TG)	11
3.3.6 Comprimento da parte aérea (CPA).....	12
3.3.7 Comprimento da radícula (CR)	12
3.3.8 Comprimento total (CT).....	12
3.4 Análises estatísticas	12
3.4.1 Análise de variância e teste de comparação entre as médias	12
3.4.2 Análise de fatores e ranqueamento dos genótipos utilizando o índice FAI- BLUP.....	13
3.4.3 Análise de fatores e agrupamento dos genótipos	15
4 RESULTADOS	16
4.1 Análise de variância e teste de comparação entre as médias	16
4.2 Análise de fatores e ranqueamento dos genótipos utilizando o índice FAI- BLUP	27
4.3 Análise de fatores e agrupamento dos genótipos	35
5 DISCUSSÃO	36
6 CONCLUSÕES	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, as projeções acerca das mudanças climáticas evidenciam grandes desafios para o suprimento da demanda por alimentos. Diante disso, é extremamente importante discutir formas para mitigar os efeitos dessas mudanças sobre a agricultura e buscar o desenvolvimento de tecnologias que utilizem os recursos naturais de maneira mais sustentável.

A agricultura irrigada utiliza aproximadamente 80 % dos recursos hídricos disponíveis (Condon et al., 2004). Inúmeros conflitos envolvendo a utilização da água têm se tornado fator limitante para a agricultura, não somente em regiões áridas e semiáridas, mas também em regiões que possuem recursos hídricos abundantes, contudo insuficientes para suprir a elevada demanda (Telles e Costa, 2010).

O déficit hídrico limita a produção agrícola e, pode, a depender de sua severidade, inviabilizar a produção de várias culturas (Manavalan et al., 2009; Lu et al., 2011; Lipiec et al., 2013; Awasthi et al., 2014). A severidade do déficit hídrico varia de acordo com o estágio fenológico da cultura no momento em que ele acontece, assim como sua duração e intensidade (Serraj et al., 2005). As perdas de produção decorrentes de eventos de seca prolongada excedem aquelas motivadas por todas as outras causas combinadas (Foolad, 2007).

O tomateiro requer de 0,89 a 2,30 L por planta por dia de água para seu pleno crescimento e desenvolvimento (Wahb-Allah et al., 2011). Quando submetido ao déficit hídrico são observadas reduções na produção e qualidade dos frutos, aumento das perdas pós-colheita, bem como alteração no conteúdo nutricional dos frutos (Hanson et al., 2012; Celebi, 2014; Chen et al., 2014; Kuscu, 2014). Comercialmente, não existem cultivares de tomateiro que possuam boas características agronômicas aliados à tolerância ao déficit hídrico. Programas de melhoramento genético que visam à seleção de plantas tolerantes ao déficit hídrico têm obtido pouco sucesso, principalmente devido à complexidade dessa característica, que é controlada por muitos genes com diferentes efeitos (Bernier et al., 2008; Gong et al., 2010; Choi et al., 2011; Ziaf et al., 2011).

Algumas espécies silvestres próximas ao tomateiro são reconhecidas como tolerantes a diversos estresses bióticos e abióticos. *Solanum pennellii* L. é uma dessas espécies, sendo descrita como capaz de suportar condições extremas de déficit hídrico (Rick, 1973). Uma coleção de 76 linhagens de introgressão (ILs), a qual cobre o genoma completo do pai doador *S. pennellii* no background genético da cultivar M-82 (*S. lycopersicum*), sensível ao déficit hídrico, foram geradas por Eshed e Zamir (1994).

Em laboratório é possível simular o déficit hídrico por meio de estudos de germinação com o uso de soluções aquosas de sacarose, sais, manitol e polietileno glicol. Esses solutos ao serem adicionados à água reduzem seu potencial hídrico e permitem a seleção de genótipos mais tolerantes (Santos et al., 1992). O método indireto com o uso de soluções aquosas de polietilenoglicol, composto químico inerte e não tóxico (Echer et al., 2010), tem sido utilizado em diversas espécies (Coelho et al., 2010; Pelegrini et al., 2013).

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi identificar ILs derivadas de *S. pennellii* tolerantes ao déficit hídrico induzido por solução de PEG 6000 durante a germinação. Além disso, determinar a eficiência de dois métodos de comparação do desempenho dos genótipos em condição com e sem déficit hídrico para discriminar genótipos tolerantes e sensíveis.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Tomateiro: generalidades

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) pertence à família das Solanáceas e possui como centro de diversidade a região Andina, que engloba parte do Chile, Bolívia, Equador, Colômbia e Peru (Bai e Lindhout, 2007). O centro secundário está localizado no México onde passou a ser cultivado e melhorado. No Brasil foi introduzido por imigrantes europeus no final do século XIX (Madeira et al., 2008).

Trata-se de uma hortaliça herbácea e perene, apesar de ser cultivada como anual. O crescimento é do tipo simpodial, uma vez que, a estrutura da planta é formada a partir do desenvolvimento de diversas gemas. As flores reúnem-se em cachos e são hermafroditas, o que favorece a autofecundação. O interesse comercial dessa cultura está nos frutos que são do tipo baga, com 2 a “n” lóculos, os quais atingem a maturação em torno de 30 a 40 dias após a fecundação do óvulo. A duração da colheita é de aproximadamente um a três meses, no entanto quando a cultura é conduzida em casa de vegetação o ciclo e a colheita podem delongar-se ainda mais (Filgueira, 2008).

O tomate é a segunda hortaliça mais produzida e consumida no mundo. O Brasil é o nono maior produtor. De acordo com o último levantamento divulgado pela FAO (2014) são produzidas anualmente aqui 4,3 milhões de toneladas de tomate em 62,69 mil hectares. O agronegócio brasileiro de tomate movimenta anualmente cerca de dois bilhões de reais e emprega mais de 300.000 pessoas de forma direta e indireta (Abcsem, 2017).

2.2 Tomateiro e o déficit hídrico

A maioria das plantas cultivadas, incluindo o tomateiro, são sensíveis ao déficit hídrico desde a germinação até a colheita. A ocorrência de déficit hídrico é um dos maiores problemas que afetam a produção do tomateiro, visto que, pode interferir no desenvolvimento e na produtividade da cultura (Bray, 2004).

Atualmente, não se tem conhecimento de cultivares comerciais de tomate tolerantes ao déficit hídrico. Em plantas de tomateiro, a exposição ao déficit hídrico desencadeia inúmeras modificações nos processos bioquímicos e fisiológicos (Foolad et al., 2003), como redução na condutância estomática, alterações na fotossíntese e respiração, acréscimo na produção de antioxidantes, reajustamento osmótico, mudanças no metabolismo hormonal, redução no conteúdo de água na folha e aumento da temperatura foliar (Siddique et al., 2001; Bartels e Sunkar, 2005; Bhargava e Sawan, 2013; Fang e Xiong, 2015).

Em situações de exposição prolongada a esse estresse pode haver redução do tamanho e da área foliar, redução no conteúdo de água da folha, abortamento floral, queda de frutos e aumento na incidência de fundo preto. Essas alterações têm como consequência, menor produtividade e qualidade dos frutos, aumento nas perdas pós-colheita e alterações no conteúdo nutricional dos frutos (Celebi, 2014; Chen et al., 2014; Kuşçu, 2014).

A tolerância ao déficit hídrico é relatada em espécies silvestres relacionadas ao tomateiro, como *S. cheesmanii* L., *S. chilense*, *S. pennellii* L., *S. pimpinellifolium* L. e *S. esculentum* var. *cerasiforme* (Yu, 1972; Richards e Phills 1979; Martin et al., 1989; Pillay e Beyl 1990; Rick 1982;). Essas espécies crescem em habitats onde a condensação de orvalho são a principal fonte de umidade (Rick 1973).

2.3 *Solanum pennellii* como fonte de alelos de tolerância ao déficit hídrico

S. pennellii é uma espécie silvestre oriunda de regiões quentes e secas situadas entre o oriente dos Andes e o oeste da Costa Pacífica, naturalmente tolerante ao déficit hídrico (Holtan e Hake, 2003; Rocha et al., 2016). Quando comparado a *S. lycopersicum*, *S. pennellii* possui um conjunto de adaptações morfoanatômicas que a tornam mais eficiente no uso de água. Algumas dessas adaptações são a menor frequência estomática, folhas mais espessas e com 31 % do volume de tecido foliar preenchido por espaços aéreos (Kebede et al., 1997).

S. pennellii possui também sistema antioxidante mais robusto. Em condições com reduzida disponibilidade de água ele reduz a condutância foliar permitindo-lhe manter maior potencial de água foliar (Torrecillas et al., 1996). Essa espécie possui ainda baixa relação da água consumida por grama de massa fresca de seu peso.

2.4 Linhagens de Introgessão (IL's) de *S. pennellii*

Linhagens de introgessão (IL's) são um grupo de linhagens quase isogênicas desenvolvidas por meio de sucessivos retrocruzamentos. Cada linhagem possui um único segmento de cromossomo geneticamente definido de um genoma divergente. Uma população completa de IL's reconstitui o genoma do pai doador em segmentos cromossômicos justapostos e pode ser mantida por tempo indeterminado através de autopolinização. Essas populações são bastante eficazes para a identificação de genes e QTL's, uma vez que, qualquer diferença fenotípica entre uma IL e o pai recorrente é atribuída unicamente aos genes do pai doador no segmento cromossômico introgridido (Zamir, 2001).

IL's de *S. pennellii* estão publicamente disponíveis desde 1995. *S. pennellii* é uma espécie silvestre próxima e sexualmente compatível a *S. lycopersicum*, produzindo híbridos férteis. Essa espécie foi utilizada como genitor doador para obtenção da população interespecífica de IL's, a qual pode ser utilizada para identificação QTL's (Eshed e Zamir, 1995, Alseekh et al., 2013). Essa população, cobre todo o genoma de *S. pennellii* em segmentos sobrepostos no fundo genético de *S. lycopersicum* (cv. M82), e são constituídas por 76 genótipos diferentes.

As linhas de introgessão podem ter desempenho agrônômico notadamente superior (Lipman et al., 2007), o que por si só, já justificaria sua utilização como população base para programas de melhoramento. Além disso, como *S. pennellii* é tolerante ao déficit hídrico (Bolger et al., 2014), é possível encontrar dentre essas linhagens, genótipos que herdaram os genes que controlam essa característica. Uma vez que todo o genoma introgridido já está mapeado e disponível (<https://solgenomics.net/>), após a identificação de genótipos tolerantes será possível identificar os genes candidatos que controlam essa característica.

2.5 Influência do déficit hídrico sobre a germinação

A água é o fator que mais influencia o processo de germinação das sementes (Bewley et al., 2013). Com a absorção de água, ocorre a reidratação dos tecidos e intensificação das atividades metabólicas as quais fornecem energia e nutrientes necessários à retomada de crescimento por parte do eixo embrionário. Ainda, o

primeiro processo que ocorre na germinação é a absorção de água pela semente e a velocidade da embebição depende da superfície de contato entre a semente e a água, das condições físicas das sementes, da temperatura e da pressão hidrostática.

Sob condições ótimas, a absorção de água pelas sementes ocorre em padrão trifásico. Na fase I ocorre a embebição que é consequência de forças matriciais. Na fase II ocorrem os eventos metabólicos, preparando a emergência da radícula. Na fase III, em nível bioquímico, as substâncias armazenadas são desdobradas, transportadas e reorganizadas em substâncias complexas, para formar o citoplasma, o protoplasma e as paredes celulares permitindo assim o crescimento do eixo embrionário. A duração de cada fase é dependente do nível de hidratação do substrato, da permeabilidade do tegumento, do tamanho da semente, da absorção de oxigênio, dentre outros (Bewley et al., 2013).

Para cada semente, a depender do tipo e quantidade de reserva acumulada, existem diferentes níveis de hidratação ou potenciais críticos de água, os quais provavelmente controlam a embebição, a expansão e a divisão celular (Hegarty, 1978). Em condições normais de campo, as sementes absorvem água, intumescem e começam a germinar. Além de mediar os processos metabólicos do desenvolvimento, a água é responsável pela manutenção da organização do sistema de membranas celulares (Almaghrabi, 2012). Dessa forma, a ocorrência de déficit hídrico durante a germinação pode alterar sua velocidade e uniformidade e até mesmo impedir que ela aconteça a depender da sensibilidade do genótipo (Bradford, 1995).

A seleção direta de genótipos tolerantes ao déficit hídrico no campo nem sempre é possível, porque fatores ambientais de difícil controle afetam negativamente a precisão e repetibilidade dos ensaios (Richards, 1996). O polietileno glicol (PEG) é um composto químico inerte e não tóxico capaz de alterar o potencial hídrico do substrato e, por isso, tem sido bastante utilizado em experimentos de laboratório para quantificar a tolerância de genótipos ao déficit hídrico durante a fase de germinação (Ahmad et al., 2009; Vahdati et al., 2009; Aazami et al., 2010; Govindaraj et al., 2010; Hamayun et al., 2010).

Nóbrega (1995) concluiu que variações na quantidade de água disponível, no tamanho da semente e nas características genéticas podem definir o desempenho

da semente durante a fase de germinação. Segundo observações de Sá (1987), ao avaliar o desempenho de sementes com qualidades fisiológicas distintas e germinadas sob diversos níveis de potencial de água, as sementes mais vigorosas foram mais tolerantes ao déficit hídrico.

Rak et al. (1988) avaliando a germinação e o alongamento de plântulas em diferentes potenciais hídricos, observaram que o conteúdo de água e o comprimento das plântulas foram menores em menores potenciais hídricos. As cultivares com sementes maiores absorveram mais água do que aquelas com sementes pequenas, mas o conteúdo de água das plântulas seguiu tendência oposta. Kpoghomou et al. (1990), submeteram sementes e plântulas de tomate ao déficit hídrico e encontraram correlação significativa entre os índices de estresse e o comprimento das plântulas, indicando que o comprimento das plântulas pode ser usado para prever o desempenho das cultivares sob tais condições.

A seleção de genótipos de tomateiro a partir de seu bom desempenho para as características relacionadas a germinação e desenvolvimento inicial das plântulas quando submetidos ao déficit hídrico permitirá a identificação de genótipos com maior grau de tolerância a esse estresse nessa fase.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Recursos Fitogenéticos

O experimento foi conduzido no Laboratório de Análise de Sementes, do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, entre os meses de maio a agosto de 2017. As sementes das linhagens de introgressão foram cedidas pelo Tomato Genetics Resource Center (<http://tgrc.ucdavis.edu/>), e multiplicadas em campo entre os meses de julho e dezembro de 2016. Para esse ensaio foram avaliadas 47 linhagens de introgressão, as quais possuíam sementes em quantidade suficiente para a realização do mesmo (200 sementes). Além das IL's foram avaliados o acesso LA716 (*S. pennellii*), padrão de tolerância, e as cultivares M-82 e Santa Clara, padrões de sensibilidade ao déficit hídrico. A lista dos genótipos avaliados está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Lista dos genótipos utilizados com a codificação adotada nesse trabalho e sua identificação. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.

Codificação	Identificação***
Genótipo 1	IL 1-4
Genótipo 2	IL 1-3
Genótipo 3	IL 1-2
Genótipo 4	IL 2-1-1
Genótipo 5	IL 2-4
Genótipo 6	IL 2-3
Genótipo 7	IL 2-6
Genótipo 8	IL 1-1-2
Genótipo 9	IL 1-4-18
Genótipo 10	IL 9-3
Genótipo 11	IL 2-6
Genótipo 12	IL 3-5
Genótipo 13	IL 4-1
Genótipo 14	IL 4-1-1
Genótipo 15	IL 4-2
Genótipo 16	IL 9-1
Genótipo 17	IL 8-2-1
Genótipo 18	IL 5-2
Genótipo 19	IL 5-1
Genótipo 20	IL 4-4
Genótipo 21	IL 6-1
Genótipo 22	IL 10-2
Genótipo 23	IL 6-1
Genótipo 24	IL 6-4
Genótipo 25	IL 10-1
Genótipo 26	IL 9-3-2
Genótipo 27	IL 11-4-1
Genótipo 28	IL 8-3-1
Genótipo 29	IL 7-1
Genótipo 30	IL 12-1-1
Genótipo 31	IL 8-3
Genótipo 32	IL 7-5-5
Genótipo 33	IL 10-1-1
Genótipo 34	IL 9-2-5
Genótipo 35	IL 8-1-3
Genótipo 36	IL 9-1-3
Genótipo 37	IL 10-2-2
Genótipo 38	IL 8-1-1
Genótipo 39	IL 7-4-1
Genótipo 40	IL 11-2
Genótipo 41	IL 2-6-5
Genótipo 42	IL 9-1-2
Genótipo 43	IL 9-3-1
Genótipo 44	IL 8-2-1
Genótipo 45	IL 3-4
Genótipo 46	IL 3-4
Genótipo 47	IL 9-2
Genótipo 48*	LA716
Genótipo 49**	Cultivar Santa Clara
Genótipo 50**	Cultivar M-82

Padrão de sensibilidade ao déficit hídrico, *Padrão de tolerância ao déficit hídrico, * IL n-x indica a x-ésima introgressão do cromossomo n.

3.2 Germinação sob déficit hídrico

O teste de germinação foi conduzido em caixa plástica transparente, de 11 x 11 x 3 cm com tampa, com duas folhas de papel tipo *germitest* umedecidas na proporção de 2,5 vezes o seu peso e 25 sementes, as quais foram dispostas sobre o papel conforme recomendado por Brasil (2009). Cada um dos 50 genótipos foi considerado um tratamento e cada caixa com 25 sementes uma parcela. O experimento foi delineado inteiramente ao acaso com quatro repetições.

Os genótipos foram submetidos a duas condições distintas, uma sem indução de déficit hídrico, na qual o substrato (papel) foi umedecido com água destilada, e outra em que o substrato foi umedecido com solução de PEG 6000 (-0,3 MPa), a fim de induzir o déficit hídrico. O potencial osmótico de -0,3 MPa foi obtido por meio da diluição do soluto PEG 6000 em água destilada com base na equação sugerida por Villela et al. (1991), para a temperatura de 25°C. Esse potencial foi escolhido para ser utilizado nesse estudo por ter sido relatado como o mais adequado para selecionar genótipos de tomateiro tolerantes ao déficit hídrico durante a germinação (Borba et al., 2017).

As caixas plásticas foram embaladas em sacos plásticos para evitar a perda de umidade e acondicionadas em câmara de germinação a 25°C com fotoperíodo de 12 horas durante 14 dias. Durante esse período o número de sementes germinadas foi registrado diariamente.

3.3 Características avaliadas

3.3.1 Primeira contagem de germinação (PCG)

A característica primeira contagem de germinação (PCG) foi avaliada no quinto dia após a semeadura, contabilizando a porcentagem de plântulas germinadas, sementes com emissão de radícula maior que 1 mm.

3.3.2 Índice de velocidade de germinação

O índice de velocidade de germinação (IVG) foi calculado pelo somatório do número de sementes germinadas, dividido pelo número de dias decorridos entre a

semeadura e a data de avaliação, de acordo com a fórmula proposta por Maguire (1962):

$$IVG = G1/N1 + G2/N2 + \dots + G14/N14$$

Em que: G1, G2, (...), G14 referem-se ao número de sementes germinadas na primeira, segunda, até a décima quarta contagem; e N1, N2, N14 referem-se ao número de dias decorridos entre a semeadura e a primeira, segunda, até a decima quarta contagem.

3.3.3 Germinação (G)

A porcentagem final de Germinação (G) foi avaliada no décimo quarto dia após a semeadura. Os resultados foram expressos em porcentagem conforme Brasil (2009).

3.3.4 Tempo para 50 % da germinação máxima (T50)

O tempo para 50 % da germinação máxima (T50) foi determinado pelo tempo em dias para a obtenção de 50 % do potencial germinativo dos lotes, conforme relatado por Copeland e McDonald (1985) e Bewley et al. (2013). Para tanto, os dados de germinação obtidos diariamente foram submetidos à análise de regressão não linear por meio da função de **Boltzmann: referencia**

$$y = b + \frac{a - b}{1 + \exp\left(\frac{x - x_o}{d_x}\right)}$$

Em que:

y = porcentagem de germinação em função do tempo;

a = porcentagem inicial de germinação;

b = porcentagem de germinação máxima;

x_o = tempo para 50 % do valor máximo de germinação – (T50) e

d_x = constante temporal.

3.3.5 Taxa de germinação (TG)

A taxa de germinação (TG) foi calculada por meio da expressão 1/T50

(Bewley et al., 2013).

3.3.6 Comprimento da parte aérea (CPA)

O comprimento da parte aérea das plântulas foi avaliado no décimo quarto dia após a semeadura com auxílio de régua graduada em centímetros. A parte aérea de todas as plântulas foi medida e o comprimento médio de hipocótilo de cada parcela foi obtido pelo somatório do comprimento da parte aérea de todas as plântulas avaliadas dividido pelo número de plântulas avaliadas (AOSA, 2009).

3.3.7 Comprimento da radícula (CR)

O comprimento da radícula (CR) foi avaliado no décimo quarto dia após a semeadura com auxílio de régua graduada em centímetros. A radícula de todas as plântulas normais foram medidas e o comprimento médio de radícula de cada parcela foi obtido pelo somatório do comprimento de radícula de todas as plântulas avaliadas dividido pelo número de plântulas avaliadas (AOSA, 2009).

3.3.8 Comprimento total (CT)

O comprimento total foi obtido pelo somatório dos valores médios obtidos para o comprimento de parte aérea e de raiz das sementes germinadas de cada parcela.

3.4 Análises estatísticas

3.4.1 Análise de variância e teste de comparação entre as médias

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade (teste de Lilliefors), e em seguida, à análise de variância. A acurácia seletiva foi calculada como proposto por Resende (2002), de acordo com a equação:

$$\hat{r}_{gg} = (1 - 1/F)^{1/2}$$

Em que:

$\hat{r}_{gg}$ = acurácia seletiva;

F = valor de F calculado para cada variável.

As médias das 47 linhagens foram comparadas aos padrões de sensibilidade (Santa Clara e M-82) e de tolerância (LA716), por meio do teste de Dunnett a 5 % de probabilidade. As médias dos dados obtidos na condição com indução de déficit hídrico foram também utilizadas para comparar as linhagens de introgressão ao genótipo M-82, a fim de observar como a introgressão do fragmento derivado de LA716 influenciou as características avaliadas.

A fim de inferir sobre a superioridade das linhagens em relação a sua tolerância ao déficit hídrico durante o estágio de germinação, o desempenho dos mesmos nas duas condições avaliadas foi comparado de duas maneiras distintas: i) a primeira delas por meio da razão entre os dados obtidos em condição com déficit hídrico pelos obtidos na condição sem déficit hídrico (com déficit hídrico/ sem déficit hídrico), os quais a partir de agora serão denominados dados da razão; ii) a segunda utilizou a diferença entre os valores obtidos na condição sem déficit hídrico e os obtidos na condição com déficit hídrico (sem déficit hídrico – com déficit hídrico), esses dados serão a partir de agora referidos como dados da diferença.

3.4.2 Análise de fatores e ranqueamento dos genótipos utilizando o índice FAI-BLUP

As variáveis razão e diferença que diferiram estatisticamente entre os 50 genótipos estudados foram então submetidas a análise de fatores, considerando uma matriz com os dados de razão, uma matriz com os dados de diferença e uma matriz com os dados de razão e diferença juntos. A metodologia utilizada para as análises descritas a seguir foi proposta por Rocha et al. (2018).

A análise de componentes principais foi utilizada para extrair as cargas fatoriais da matriz de correlação genética obtida pelos valores genotípicos médios. Utilizou-se o critério varimax na obtenção das cargas fatoriais finais (Kaiser, 1958), e para o cálculo dos fatores foi usado o método dos mínimos quadrados ponderados (Thomson, 1938). O número de ideótipos foi definido com base na combinação de fatores desejáveis e indesejáveis conforme o objetivo da seleção através da seguinte expressão:

$$NI = 2n,$$

Em que NI refere-se ao número de ideótipos e n refere-se ao número de fatores.

O número de fatores (n), usado para projetar os ideótipos, foi igual ao número de autovalores (variância do componente principal) maior ou igual a um como proposto por Kaiser (1958).

O escore do fator foi calculado como combinação linear dos valores genotípicos médios padrões ponderados pelas cargas canônicas, obtidas pela análise fatorial. Portanto, para ser considerado desejável um fator deve ter os valores genotípicos médios desejáveis, do conjunto de dados, para todos os caracteres sob seleção. Para os dados referentes a razão foram considerados como desejáveis os valores máximos para as características primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação, porcentagem final de germinação, taxa de germinação, comprimento da radícula, comprimento da parte aérea, e comprimento total, e valores mínimos para a característica tempo médio para germinação de 50 % das sementes. Para os dados referentes a diferença foram considerados como desejáveis os valores mínimos para as características primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação, porcentagem final de germinação, taxa de germinação, comprimento da radícula, comprimento da parte aérea, e comprimento total, e valores máximos para a característica tempo médio para germinação de 50 % das sementes. Dessa forma cada genótipo e suas coordenadas (pontuação fatorial) puderam ser projetados.

Após a determinação dos ideótipos as distâncias de cada genótipo em relação aos ideótipos (distância genótipo-ideótipo) foram estimadas e convertidas em probabilidade espacial, permitindo o ranqueamento dos genótipos.

Para o cálculo da probabilidade a seguinte expressão foi utilizada:

$$P_{ij} = \frac{\frac{1}{d_{ij}}}{\sum_{i=1; j=1}^{i=n; j=m} \frac{1}{d_{ij}}}$$

Em que:

P_{ij} = probabilidade do genótipo i (i = 1, 2, ..., n) ser similar ao ideótipo j (j = 1, 2, ..., m);

d_{ij} = distância entre o genótipo i e o ideótipo j baseado na distância do genótipo i do ideótipo j com base na distância euclidiana média padronizada.

O índice FAI-BLUP modificado foi escolhido para ranquear os genótipos pois além de lidar muito bem com problemas de multicolinearidade e a falta de atribuição de peso, em ambos os casos devido a análise fatorial, leva em consideração a estrutura de correlação obtido a partir dos dados e direciona a seleção de genótipos mais próximos a hipótese do criador (ideótipo) (Rocha et al., 2018).

3.4.3 Análise de fatores e agrupamento dos genótipos

O mesmo conjunto de dados foi utilizado para o agrupamento dos genótipos utilizando a metodologia descrita acima para análise de fatores com a inversão da matriz de dados genótipos x características, para características x genótipos.

4 RESULTADOS

4.1 Análise de variância e teste de comparação entre as médias

O teste F apontou diferença significativa ($p < 0,01$) entre os genótipos utilizados nesse estudo para todas as características avaliadas, tanto na condição controle, como na condição com indução de déficit hídrico (-0,3 MPa). (Tabela 2).

Tabela 2: Resumo da análise de variância da porcentagem da primeira contagem de germinação (%PCG), índice de velocidade de germinação (IVG), porcentagem final de germinação (G), tempo médio para germinação de 50 % das sementes (T50), taxa de germinação (TG), comprimento da radícula (CR), comprimento da parte aérea (CPA), e comprimento total (CT), dos 50 genótipos avaliados. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.

		Quadrados médios								
	F.V.	G.L.	%PCG	IVG	G	T50	TG	CPA	CR	CT
0 MPa	Genótipo	49	688,92**	97,96**	281,60**	1,17**	0,006**	1,29**	1,76**	4,69**
	Resíduo	150	161,97	14,63	26,13	0,37	0,002	0,15	0,22	0,45
	Média		80,88	33,19	91,08	3,630	0,28	2,48	2,21	4,69
	C.V. (%)		15,73	11,52	5,61	16,82	14,70	15,47	21,11	14,28
	$\hat{r}_{gg}$		0,87	0,92	0,95	0,83	0,82	0,94	0,94	0,95
-0,3 MPa	Genótipo	49	109,92**	46,93**	939,26**	5,481**	0,003**	1,17**	0,90**	2,86**
	Resíduo	150	53,41	14,63	281,70	3,08	0,002	0,28	0,14	0,60
	Média		5,78	8,15	48,20	8,40	0,12	1,93	2,17	4,11
	C.V. (%)		126,4	46,94	34,821	20,89	37,28	27,40	17,48	18,97
	$\hat{r}_{gg}$		0,71	0,92	0,84	0,66	0,58	0,88	0,92	0,89

** e ^{ns}, significativo a 0,01 de probabilidade e não significativo pelo teste F.

O déficit hídrico induzido pela solução de PEG (-0,3 MPa) promoveu reduções nas características PCG, G, IVG, e TG de todos os genótipos, como pode ser observado nas Figuras 1, 2, 3 e 5. A característica PCG foi a que sofreu maior redução com a indução do déficit hídrico (Figura 1). De forma coerente a esse resultado, o T50 de todos genótipos aumentou sob déficit hídrico (Figura 4).

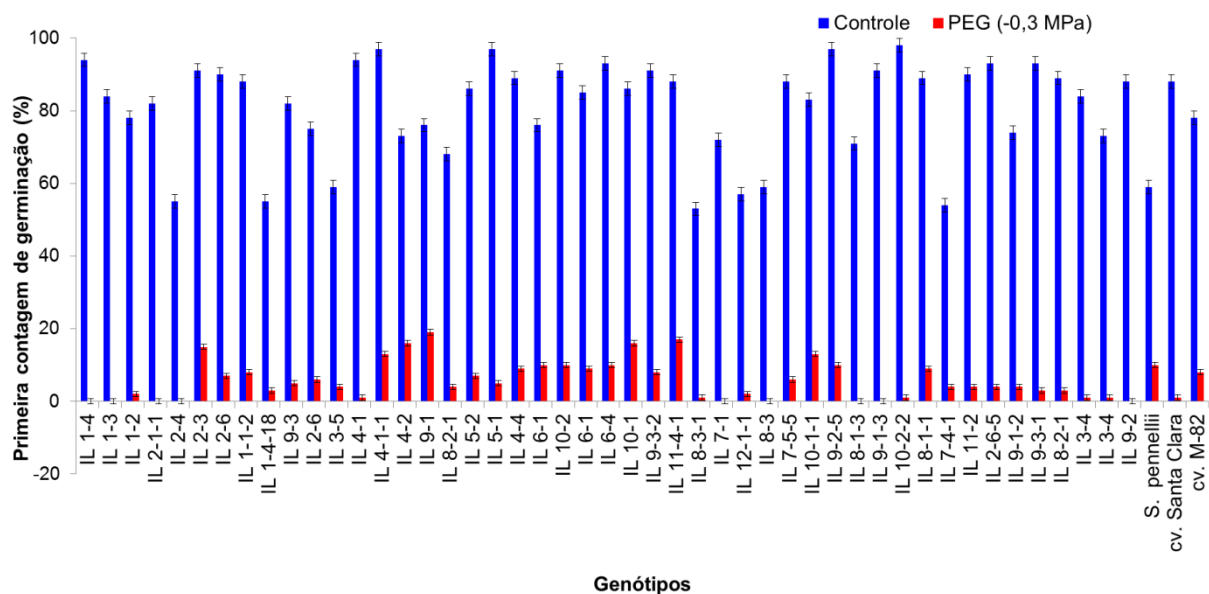


Figura 1: Efeito do déficit hídrico induzido pela solução de PEG 6000 (-0,3 MPa) sobre a característica primeira contagem de germinação (PCG) para os 50 genótipos avaliados.

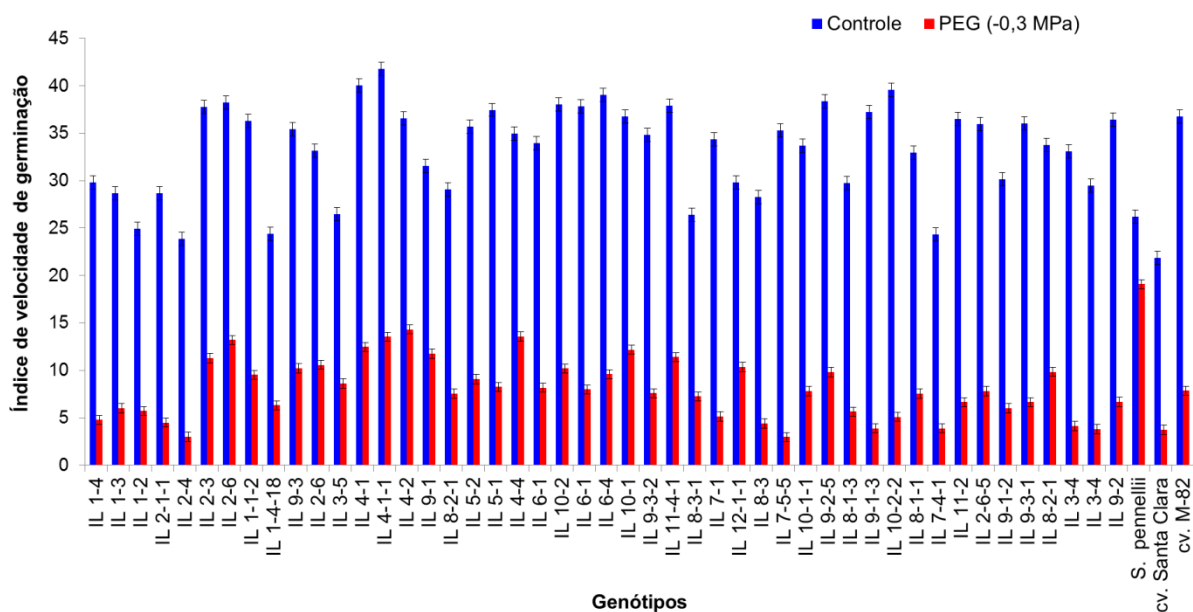


Figura 2: Efeito do déficit hídrico induzido pela solução de PEG 6000 (-0,3 MPa) sobre a característica índice de velocidade de germinação (IVG) para os 50 genótipos avaliados.

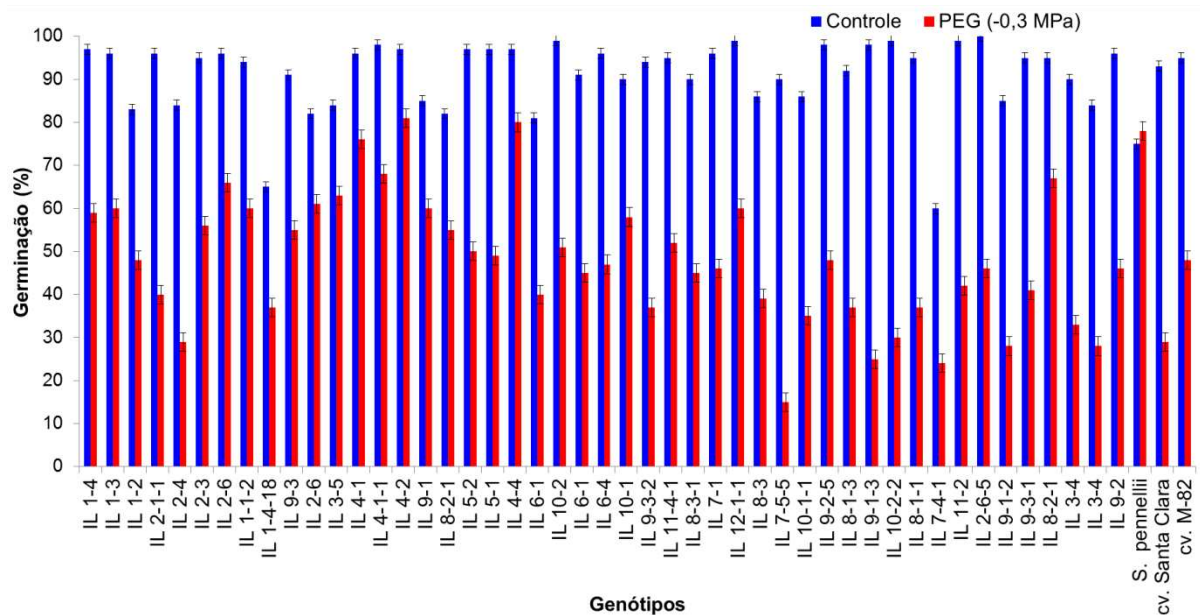


Figura 3: Efeito do déficit hídrico induzido pela solução de PEG 6000 (-0,3 MPa) sobre a característica % de germinação (G) para os 50 genótipos avaliados.

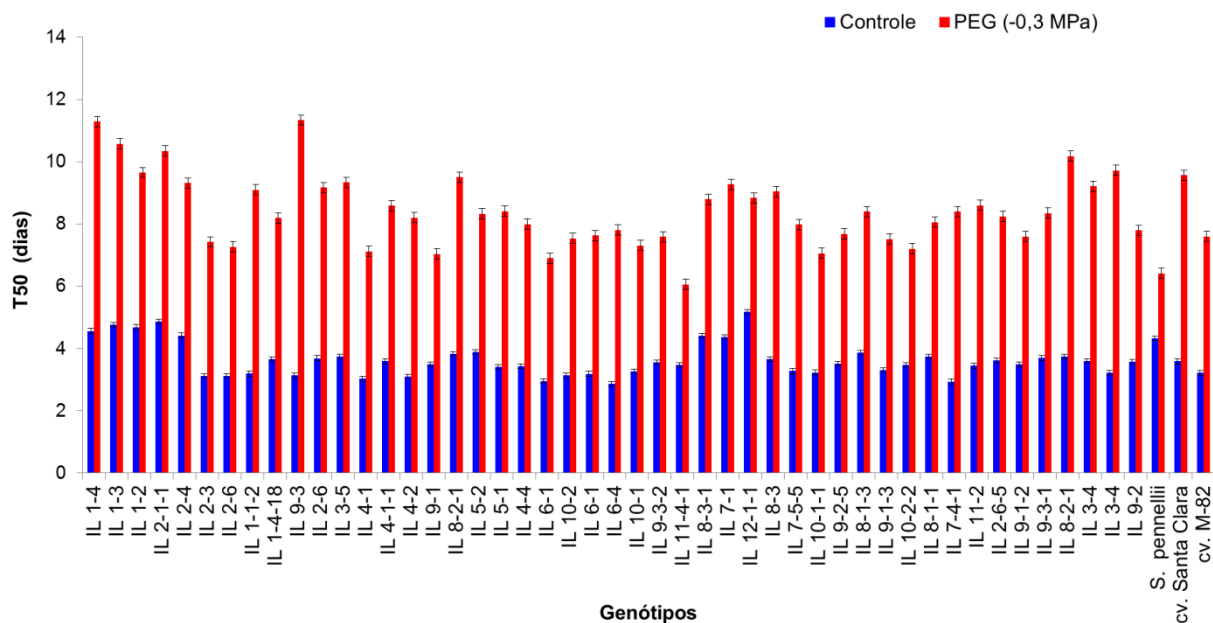


Figura 2: Efeito do déficit hídrico induzido pela solução de PEG 6000 (-0,3 MPa) sobre a característica tempo de germinação de 50 % (T50) das sementes para os 50 genótipos avaliados.

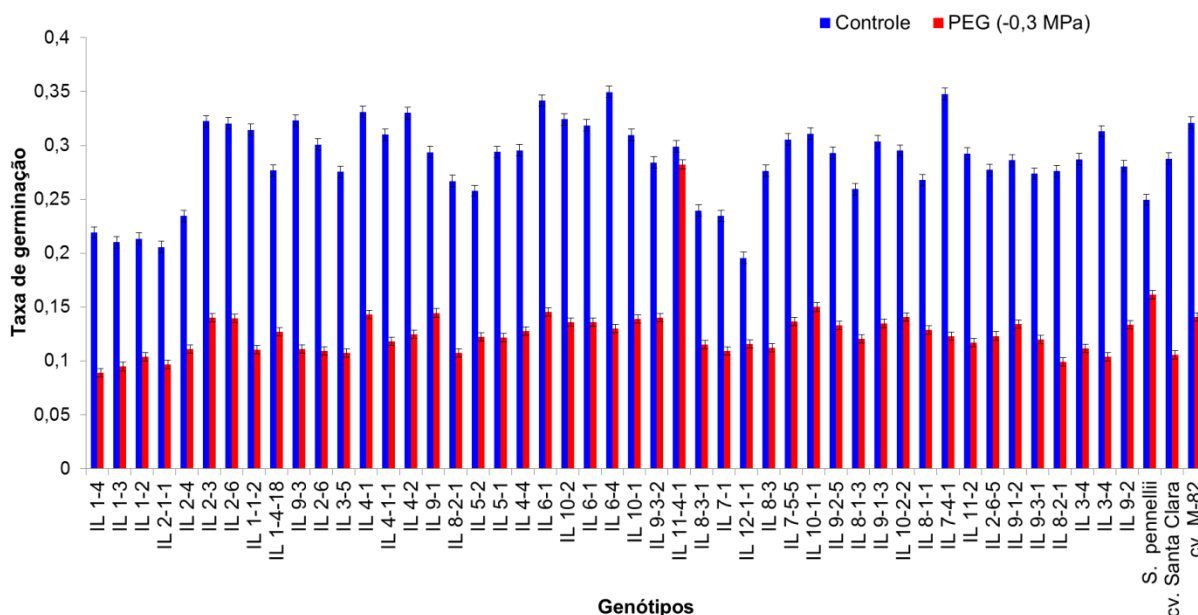


Figura 3: Efeito do déficit hídrico induzido pela solução de PEG 6000 (-0,3 MPa) sobre a taxa de germinação (TG) para os 50 genótipos avaliados.

Com relação às variáveis relacionadas a tamanho, o comprimento de parte aérea foi, em geral, menor na condição de déficit hídrico, contudo alguns genótipos como IL 10-2-2, IL 9-1-2 e IL 9-3-1 apresentaram comprimento de parte aérea maior sob déficit hídrico (Figura 6). O comprimento da radícula sob déficit hídrico foi maior para maioria dos genótipos, incluindo os padrões de sensibilidade, M-82 e Santa Clara, e o padrão de tolerância *S. pennellii* (Figura 7). Alguns genótipos apresentaram o comprimento total maior na condição de déficit hídrico (Figura 8). Para IL 10-2-2, IL 9-3-1 e IL 8-2-1 esse resultado pode ser atribuído em parte ao crescimento superior da parte aérea sob déficit hídrico (Figura 6), contudo os demais genótipos com maior tamanho total em PEG se deve ao maior crescimento da radícula nessa condição (Figura 7).

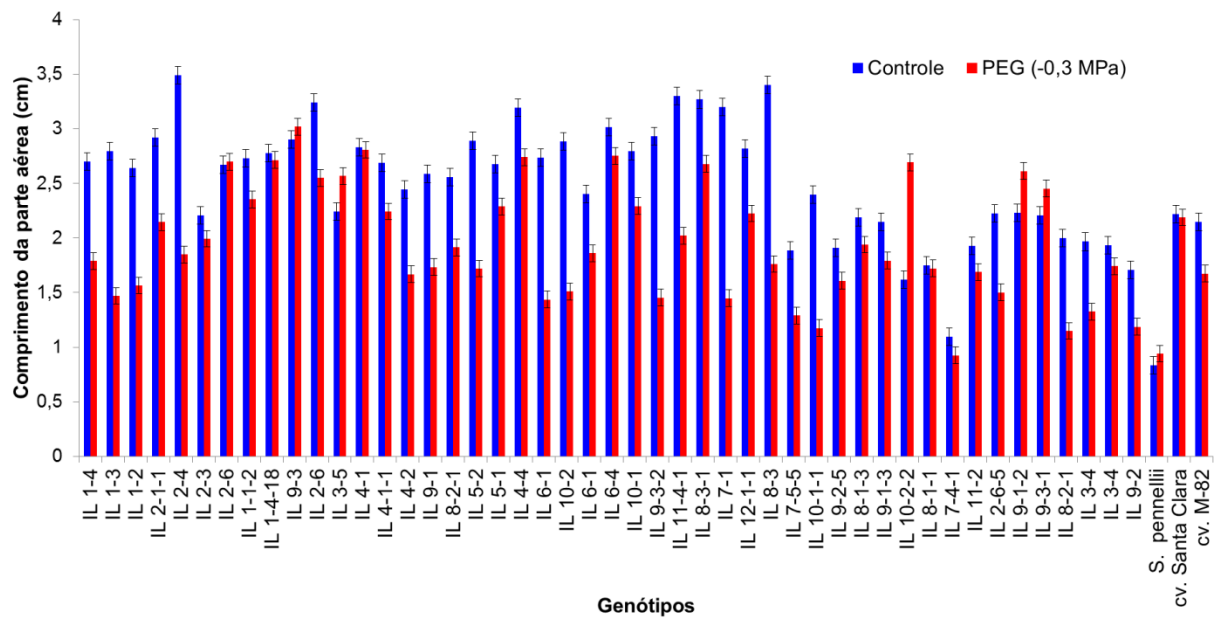


Figura 4: Efeito do déficit hídrico induzido pela solução de PEG 6000 (-0,3 MPa) sobre a característica comprimento de parte aérea (CPA) para os 50 genótipos avaliados

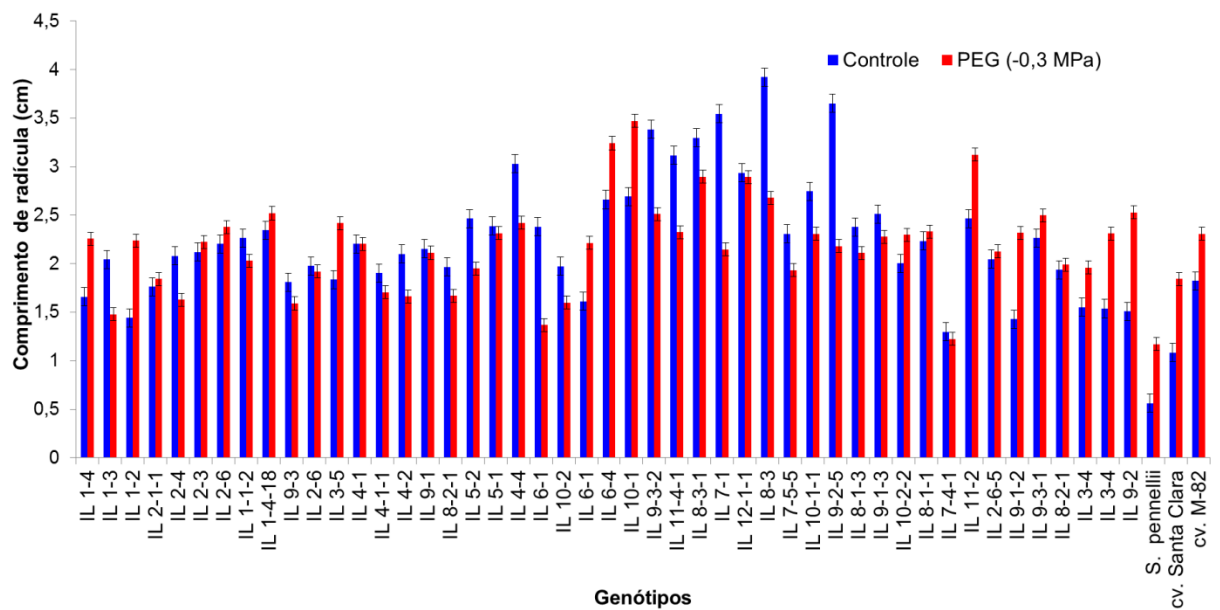


Figura 5: Efeito do déficit hídrico induzido pela solução de PEG 6000 (-0,3 MPa) sobre a característica comprimento de radícula para os 50 genótipos avaliados.

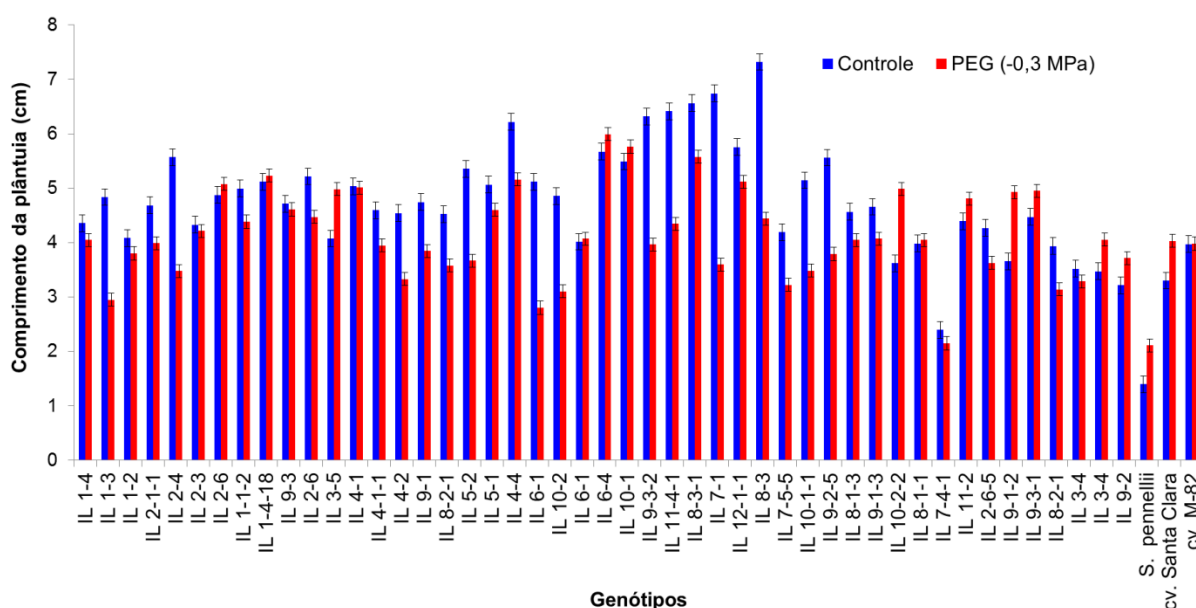


Figura 6: Efeito do déficit hídrico induzido pela solução de PEG 6000 (-0,3 MPa) sobre a característica comprimento total para os 50 genótipos avaliados.

Como pode ser observado na Figura 9, a introgressão de fragmentos de *S. pennellii* na cultivar M-82 teve efeito sobre a maioria das características avaliadas, aumentando ou diminuindo seus valores em todas as linhagens avaliadas nesse trabalho. Também é pertinente observar que para uma mesma linhagem, o fragmento de *S. pennellii* promoveu acréscimos em algumas características e reduções em outras (Figura 9).

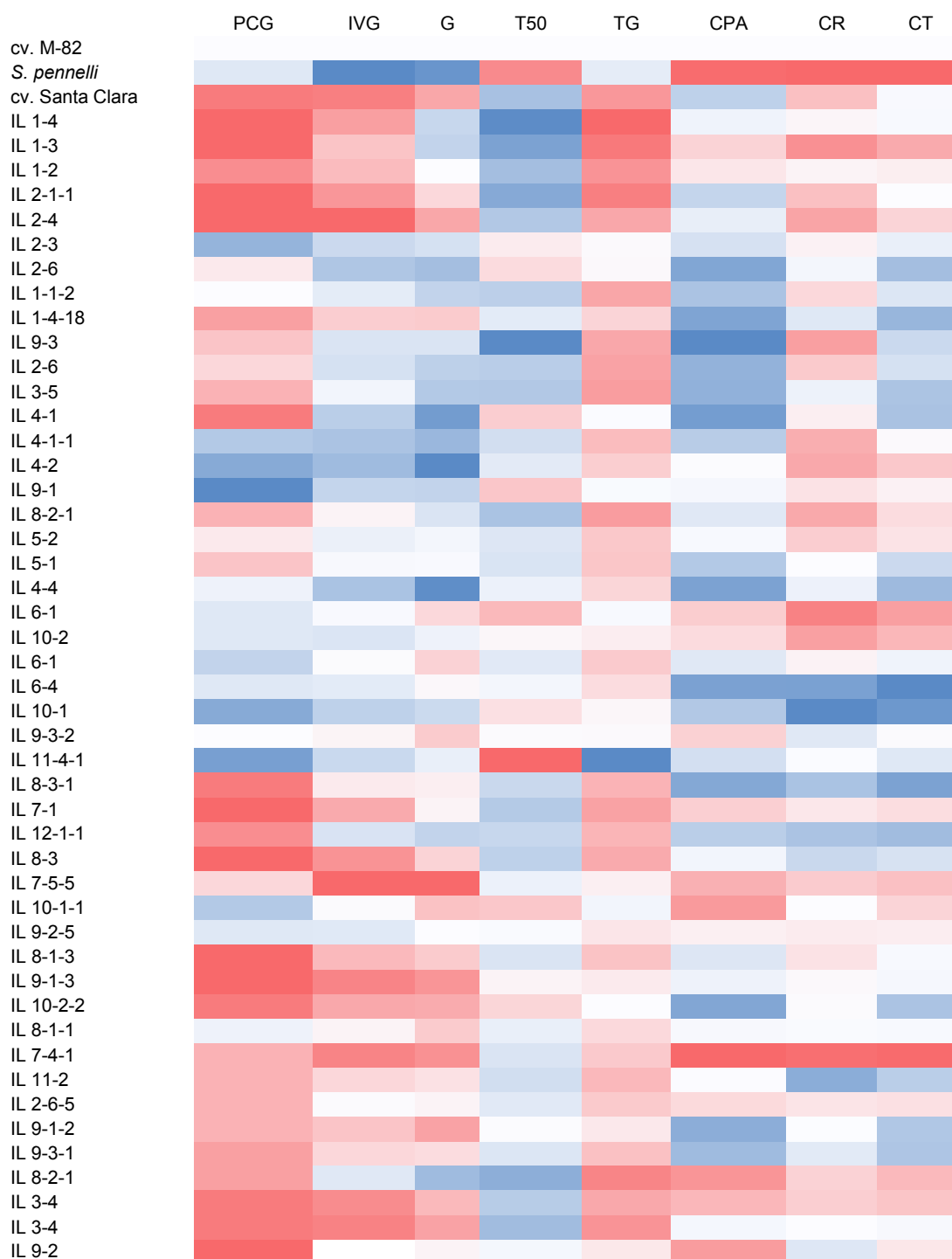


Figura 7: Mapa de calor das características avaliadas sob indução de déficit hídrico comparando os demais genótipos a cultivar M-82. Seções em branco ou de cor pálida indicam que a substituição do segmento cromossômico não exerceu grande efeito sobre a característica. Regiões em vermelho ou azul indicam acréscimo ou redução da característica após a introgressão de segmentos de *S. pennellii* (LA716) respectivamente. PCG= Primeira contagem de germinação, IVG= Índice de velocidade de germinação, G= porcentagem final de germinação, T50 = Tempo para germinação de 50 % das sementes, TG= Taxa de germinação. CPA= Comprimento da parte aérea, CR= Comprimento da radícula, CT = Comprimento total.

O resultado da comparação entre as 47 linhagens avaliadas e os padrões de sensibilidade (Santa Clara e M-82) e de tolerância (LA716) utilizando o teste de

Dunnett a 5 %, para as variáveis relacionadas a germinação (PCG, G, IVG, T50 e TG) e tamanho (CA, CR, CT) obtidas em condição sem déficit hídrico, e com déficit hídrico (-0,3 MPa) estão apresentadas nas Tabelas 3, 4 e 5. A indução de déficit hídrico pela solução de PEG alterou o desempenho de grande parte dos genótipos. Por exemplo, a IL 2-1-1 na ausência de déficit hídrico apresentou média similar ao genótipo tolerante para a característica T50 e, quando submetida ao déficit hídrico essa média foi similar aos dois padrões de sensibilidade. Essa mudança no desempenho das linhagens em função da condição ambiental se repetiu para todas as variáveis avaliadas.

Tabela 3: Comparação entre as linhagens avaliadas e os controles LA716 (padrão de tolerância), e M-82 e Santa Clara (padrões de sensibilidade para as variáveis de germinação PCG, G e IVG. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.

	PCG (0 MPa),	PCG (-0,3 MPa),	G (0 MPa),	G (-0,3 MPa),	IVG (0 MPa),	IVG (-0,3 MPa),
IL 1-4	94 bc	0 abc	97 bc	59 abc	29,80 a c	4,78 bc
IL 1-3	84 abc	0 abc	96 bc	60 abc	28,68 ab	6,00 bc
IL 1-2	78 abc	2 abc	83 ab	48 abc	24,94 ab	5,71 bc
IL 2-1-1	82 abc	0 abc	96 bc	40 bc	28,68 ab	4,49 bc
IL 2-4	55 a c	0 abc	84 ab	29 bc	23,88 ab	2,99 bc
IL 2-3	91 bc	15 abc	95 bc	56 abc	37,74 c	11,30 abc
IL 2-6	90 bc	7 abc	96 bc	66 a c	38,25 c	13,20 a c
IL 1-1-2	88 bc	8 abc	94 bc	60 abc	36,28 c	9,52 bc
IL 1-4-18	55 a c	3 abc	65 a	37 bc	24,40 ab	6,32 bc
IL 9-3	82 abc	5 abc	91 bc	55 abc	35,45 c	10,23 bc
IL 2-6	75 abc	6 abc	82 a	61 abc	33,14 a c	10,58 bc
IL 3-5	59 a c	4 abc	84 ab	63 abc	26,50 ab	8,60 bc
IL 4-1	94 bc	1 abc	96 bc	76 a c	40,04 c	12,47 a c
IL 4-1-1	97 bc	13 abc	98 bc	68 a c	41,75 c	13,53 a c
IL 4-2	73 abc	16 abc	97 bc	81 a c	36,58 c	14,33 a c
IL 9-1	76 abc	19 a c	85 abc	60 abc	31,52 a c	11,76 a c
IL 8-2-1	68 abc	4 abc	82 a	55 abc	29,09 abc	7,56 bc
IL 5-2	86 bc	7 abc	97 bc	50 abc	35,69 c	9,09 bc
IL 5-1	97 bc	5 abc	97 bc	49 abc	37,47 c	8,26 bc
IL 4-4	89 bc	9 abc	97 bc	80 a c	34,98 c	13,56 a c
IL 6-1	76 abc	10 abc	81 a	40 bc	33,99 a c	8,17 bc
IL 10-2	91 bc	10 abc	99 bc	51 abc	38,07 c	10,20 bc
IL 6-1	85 abc	9 abc	91 bc	45 abc	37,84 c	7,99 bc
IL 6-4	93 bc	10 abc	96 bc	47 abc	39,06 c	9,60 bc
IL 10-1	86 bc	16 abc	90 bc	58 abc	36,75 c	12,18 a c
IL 9-3-2	91 bc	8 abc	94 bc	37 bc	34,81 c	7,59 bc
IL 11-4-1	88 bc	17 a c	95 bc	52 abc	37,88 c	11,39 abc
IL 8-3-1	53 a c	1 abc	90 bc	45 abc	26,43 ab	7,26 bc
IL 7-1	72 abc	0 abc	96 bc	46 abc	34,36 c	5,15 bc
IL 12-1-1	57 a c	2 abc	99 bc	60 abc	29,81 a c	10,34 bc
IL 8-3	59 a c	0 abc	86 bc	39 bc	28,31 ab	4,39 bc
IL 7-5-5	88 bc	6 abc	90 bc	15 bc	35,28 c	2,98 bc
IL 10-1-1	83 abc	13 abc	86 bc	35 bc	33,71 a c	7,81 bc
IL 9-2-5	97 bc	10 abc	98 bc	48 abc	38,40 c	9,80 bc
IL 8-1-3	71 abc	0 abc	92 bc	37 bc	29,73 abc	5,65 bc
IL 9-1-3	91 bc	0 abc	98 bc	25 bc	37,26 c	3,90 bc
IL 10-2-2	98 bc	1 abc	99 bc	30 bc	39,58 c	5,10 bc
IL 8-1-1	89 bc	9 abc	95 bc	37 bc	32,93 a c	7,56 bc
IL 7-4-1	54 a c	4 abc	60	24 bc	24,34 ab	3,89 bc
IL 11-2	90 bc	4 abc	99 bc	42 bc	36,52 c	6,65 bc
IL 2-6-5	93 bc	4 abc	100 bc	46 abc	35,94 c	7,82 bc
IL 9-1-2	74 abc	4 abc	85 abc	28 bc	30,18 a c	6,01 bc
IL 9-3-1	93 bc	3 abc	95 bc	41 bc	36,02 c	6,65 bc
IL 8-2-1	89 bc	3 abc	95 bc	67 a c	33,74 a c	9,84 bc
IL 3-4	84 abc	1 abc	90 bc	33 bc	33,07 a c	4,15 bc
IL 3-4	73 abc	1 abc	84 b	28 bc	29,46 abc	3,81 bc
IL 9-2	88 bc	0 abc	96 bc	46 abc	36,44 c	6,68 bc
<i>S. pennelli</i>	59 a	10 a	75 a	78 a	26,17 a	19,09 a
cv. Sta Clara	88 b	1 b	93 b	29 b	21,83 b	3,72 b
cv. M-82	78 c	8 c	95 c	48 c	36,74 c	7,85 c

PCG = Primeira contagem de germinação, G= porcentagem final de germinação, IVG= índice de velocidade de germinação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

Tabela 4: Comparação entre as linhagens avaliadas e os controles LA716 (padrão de tolerância), e M-82 e Santa Clara (padrões de sensibilidade para as variáveis de germinação T50 e TG. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.

	T50 (0 MPa),	T50 (-0,3 MPa),	TG (0 MPa),	TG (-0,3 MPa),
IL 1-4	4,56 ab	11,28 b	0,22 ab	0,09 abc
IL 1-3	4,76 ab	10,57 bc	0,21 ab	0,09 abc
IL 1-2	4,69 ab	9,65 abc	0,21 ab	0,10 abc
IL 2-1-1	4,86 a	10,34 bc	0,21 ab	0,10 abc
IL 2-4	4,42 abc	9,31 abc	0,23 abc	0,11 abc
IL 2-3	3,11 abc	7,42 abc	0,32 abc	0,14 abc
IL 2-6	3,12 abc	7,26 abc	0,32 abc	0,14 abc
IL 1-1-2	3,19 abc	9,09 abc	0,31 abc	0,11 abc
IL 1-4-18	3,66 abc	8,19 abc	0,28 abc	0,13 abc
IL 9-3	3,13 abc	11,33 b	0,32 abc	0,11 abc
IL 2-6	3,69 abc	9,16 abc	0,30 abc	0,11 abc
IL 3-5	3,74 abc	9,33 abc	0,28 abc	0,11 abc
IL 4-1	3,02 bc	7,12 abc	0,33 abc	0,14 abc
IL 4-1-1	3,59 abc	8,59 abc	0,31 abc	0,12 abc
IL 4-2	3,09 abc	8,20 abc	0,33 abc	0,12 abc
IL 9-1	3,49 abc	7,04 abc	0,29 abc	0,14 abc
IL 8-2-1	3,83 abc	9,50 abc	0,27 abc	0,11 abc
IL 5-2	3,89 abc	8,32 abc	0,26 abc	0,12 abc
IL 5-1	3,41 abc	8,41 abc	0,29 abc	0,12 abc
IL 4-4	3,42 abc	7,99 abc	0,30 abc	0,13 abc
IL 6-1	2,95 bc	6,90 abc	0,34 bc	0,15 abc
IL 10-2	3,13 abc	7,54 abc	0,32 abc	0,14 abc
IL 6-1	3,19 abc	7,63 abc	0,32 abc	0,14 abc
IL 6-4	2,86 bc	7,81 abc	0,35 bc	0,13 abc
IL 10-1	3,27 abc	7,31 abc	0,31 abc	0,14 abc
IL 9-3-2	3,56 abc	7,59 abc	0,28 abc	0,14 abc
IL 11-4-1	3,48 abc	6,05 abc	0,30 abc	0,28
IL 8-3-1	4,41 abc	8,79 abc	0,24 abc	0,12 abc
IL 7-1	4,37 abc	9,27 abc	0,23 abc	0,11 abc
IL 12-1-1	5,17 a	8,83 abc	0,20 a	0,12 abc
IL 8-3	3,65 abc	9,04 abc	0,28 abc	0,11 abc
IL 7-5-5	3,27 abc	7,98 abc	0,31 abc	0,14 abc
IL 10-1-1	3,23 abc	7,05 abc	0,31 abc	0,15 abc
IL 9-2-5	3,51 abc	7,68 abc	0,29 abc	0,13 abc
IL 8-1-3	3,87 abc	8,39 abc	0,26 abc	0,12 abc
IL 9-1-3	3,31 abc	7,51 abc	0,30 abc	0,13 abc
IL 10-2-2	3,46 abc	7,20 abc	0,30 abc	0,14 abc
IL 8-1-1	3,74 abc	8,05 abc	0,27 abc	0,13 abc
IL 7-4-1	2,94 bc	8,40 abc	0,35 bc	0,12 abc
IL 11-2	3,44 abc	8,60 abc	0,29 abc	0,12 abc
IL 2-6-5	3,61 abc	8,24 abc	0,28 abc	0,12 abc
IL 9-1-2	3,49 abc	7,60 abc	0,29 abc	0,13 abc
IL 9-3-1	3,69 abc	8,35 abc	0,27 abc	0,12 abc
IL 8-2-1	3,74 abc	10,17 bc	0,28 abc	0,10 abc
IL 3-4	3,59 abc	9,20 abc	0,29 abc	0,11 abc
IL 3-4	3,21 abc	9,72 abc	0,31 abc	0,10 abc
IL 9-2	3,57 abc	7,79 abc	0,28 abc	0,13 abc
<i>S. pennelli</i>	4,32 a	6,41 a	0,25 a	0,16 a
cv. Sta Clara	3,59 b	9,56 b	0,29 b	0,11 b
cv. M-82	3,21 c	7,60 c	0,32 c	0,14 c

T50 = Tempo para germinação de 50 % das sementes, TG= Taxa de germinação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

Tabela 5: Comparação entre as linhagens avaliadas e os controles LA716 (padrão de tolerância), e M-82 e Santa Clara (padrões de sensibilidade para as variáveis CPA, CR e CT. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.

	CPA (0 MPa),	CPA (-0,3 MPa),	CR (0 MPa),	CR (-0,3 MPa),	CT (0 MPa),	CT (-0,3 MPa),
IL 1-4	2,70 bc	1,79 abc	1,66 bc	2,26 bc	4,36 bc	4,05 bc
IL 1-3	2,80 bc	1,47 abc	2,04 bc	1,48 ab	4,84 c	2,95 abc
IL 1-2	2,64 bc	1,57 abc	1,44 abc	2,24 bc	4,09 bc	3,80 bc
IL 2-1-1	2,92 bc	2,15 bc	1,76 bc	1,85 abc	4,69 bc	3,99 bc
IL 2-4	3,49	1,85 abc	2,08 c	1,63 abc	5,57	3,48 abc
IL 2-3	2,21 bc	2,00 abc	2,12 c	2,22 bc	4,33 bc	4,22 bc
IL 2-6	2,67 bc	2,70 bc	2,21 c	2,38 bc	4,88 c	5,08 bc
IL 1-1-2	2,73 bc	2,36 bc	2,26 c	2,03 bc	5,00 c	4,39 bc
IL 1-4-18	2,78 bc	2,71 bc	2,35 c	2,52 bc	5,12 c	5,24 bc
IL 9-3	2,91 bc	3,02 b	1,81 bc	1,59 abc	4,71 c	4,61 bc
IL 2-6	3,24	2,55 bc	1,98 bc	1,92 abc	5,22 c	4,47 bc
IL 3-5	2,24 bc	2,57 bc	1,84 bc	2,42 bc	4,08 bc	4,99 bc
IL 4-1	2,83 bc	2,81 b	2,20 c	2,21 bc	5,04 c	5,01 bc
IL 4-1-1	2,69 bc	2,24 bc	1,90 bc	1,71 abc	4,60 bc	3,95 bc
IL 4-2	2,44 bc	1,67 abc	2,10 c	1,66 abc	4,54 bc	3,33 abc
IL 9-1	2,59 bc	1,74 abc	2,16 c	2,11 bc	4,75 c	3,85 bc
IL 8-2-1	2,56 bc	1,91 abc	1,97 bc	1,67 abc	4,52 bc	3,58 abc
IL 5-2	2,89 bc	1,72 abc	2,47 c	1,95 abc	5,36 c	3,67 abc
IL 5-1	2,68 bc	2,29 bc	2,39 c	2,32 bc	5,07 c	4,60 bc
IL 4-4	3,19	2,74 bc	3,03	2,42 bc	6,22	5,16 bc
IL 6-1	2,74 bc	1,43 abc	2,38 c	1,37 ab	5,12 c	2,81 abc
IL 10-2	2,89 bc	1,51 abc	1,97 bc	1,60 abc	4,86 c	3,11 abc
IL 6-1	2,41 bc	1,86 abc	1,61 bc	2,21 bc	4,02 bc	4,07 bc
IL 6-4	3,02 b	2,75 bc	2,66 c	3,24	5,67	6,00
IL 10-1	2,80 bc	2,29 bc	2,69 c	3,47	5,49	5,77
IL 9-3-2	2,93 bc	1,46 abc	3,39	2,52 bc	6,32	3,97 bc
IL 11-4-1	3,30	2,02 abc	3,12	2,32 bc	6,42	4,34 bc
IL 8-3-1	3,27	2,68 bc	3,30	2,90 c	6,57	5,58 bc
IL 7-1	3,20	1,45 abc	3,55	2,15 bc	6,75	3,60 abc
IL 12-1-1	2,82 bc	2,23 bc	2,94	2,90 c	5,76	5,12 bc
IL 8-3	3,40	1,76 abc	3,92	2,68 c	7,32	4,44 bc
IL 7-5-5	1,89 bc	1,29 abc	2,31 c	1,94 abc	4,20 bc	3,23 abc
IL 10-1-1	2,40 bc	1,18 abc	2,75 c	2,31 bc	5,15 c	3,49 abc
IL 9-2-5	1,91 bc	1,61 abc	3,65	2,19 bc	5,56	3,79 bc
IL 8-1-3	2,19 bc	1,94 abc	2,38 c	2,11 bc	4,57 bc	4,05 bc
IL 9-1-3	2,15 bc	1,80 abc	2,51 c	2,28 bc	4,66 bc	4,07 bc
IL 10-2-2	1,62 abc	2,69 bc	2,00 bc	2,30 bc	3,62 bc	4,99 bc
IL 8-1-1	1,75 bc	1,72 abc	2,24 c	2,33 bc	3,98 bc	4,05 bc
IL 7-4-1	1,10 a	0,93 a c	1,30 abc	1,23 ab	2,40 ab	2,15 a
IL 11-2	1,93 bc	1,69 abc	2,47 c	3,12	4,39 bc	4,81 bc
IL 2-6-5	2,23 bc	1,50 abc	2,05 bc	2,13 bc	4,27 bc	3,63 abc
IL 9-1-2	2,23 bc	2,61 bc	1,43 abc	2,32 bc	3,66 bc	4,93 bc
IL 9-3-1	2,21 bc	2,45 bc	2,27 c	2,50 bc	4,47 bc	4,95 bc
IL 8-2-1	2,00 bc	1,15 abc	1,94 bc	1,99 bc	3,94 bc	3,14 abc
IL 3-4	1,97 bc	1,33 abc	1,55 bc	1,96 abc	3,52 bc	3,29 abc
IL 3-4	1,94 bc	1,74 abc	1,54 bc	2,31 bc	3,47 bc	4,05 bc
IL 9-2	1,71 bc	1,19 abc	1,51 abc	2,53 bc	3,22 bc	3,71 abc
<i>S. pennelli</i>	0,84 a	0,94 a	0,57 a	1,17 a	1,40 a	2,11 a
cv. Sta Clara	2,22 b	2,19 b	1,08 b	1,85 b	3,30 b	4,04 b
cv. M-82	2,15 c	1,67 c	1,83 c	2,31 c	3,97 c	3,98 c

CA= Comprimento da parte aérea, CR= comprimento da radícula, CT = comprimento total. Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Dunnett a 5% de probabilidade.

4.2 Análise de fatores e ranqueamento dos genótipos utilizando o índice FAI-BLUP

Com o intuito descrever a variabilidade original do vetor aleatório Y , em termos de um número menor de variáveis aleatórias, denominadas fatores, optou-se por utilizar a análise fatorial. A Tabela 9 apresenta os autovalores e a variância acumulada explicada por cada componente principal obtido para os dados de razão e diferença juntos (18 componentes principais) e individualmente (9 componentes principais). Para o conjunto de dados com razão e diferença juntos a soma dos quatro primeiros componentes principais tiveram autovalores maiores que um e para o conjunto como os dados apenas de razão ou diferença a soma dos autovalores dos três primeiros componentes principais foi maior que um. Dessa forma, de acordo com critério de Kaiser (1958), as variáveis foram condensados em quatro fatores para razão e diferença juntos, e três fatores para os dados de razão e diferença individualmente.

Para os dados com razão e diferença, a variância acumulada explicada pelos quatro primeiros componentes principais, ou comunalidade média (variância comum), foi superior a 79 %, enquanto que para os dados de diferença ou razão, individualmente, a variância acumulada explicada pelos três primeiros componentes principais foi superior a 70 % e 73 %, respectivamente. Esses resultados indicam que esses fatores representam são suficientes para representar a variabilidade presente no material.

Tabela 6: Autovalores estimados pela análise de componentes principais e proporção da variância explicados por eles utilizando os dados de razão e diferença juntos e separados. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.

Razão e diferença		Diferença		Razão	
Autovalores	Variância cumulativa (%)	Autovalores	Variância cumulativa (%)	Autovalores	Variância cumulativa (%)
0.507e+00	28.18	2.68e+00	29.87	2.70	30.04
4.32e+00	52.21	2.30e+00	55.52	2.38	56.55
2.71e+00	67.28	1.34e+00	70.41	1.50	73.23
2.13e+00	79.14	9.77e-01	81.27	1.04	84.87
1.25e+00	86.11	7.06e-01	89.13	0.61	91.74
9.40e-01	91.33	5.81e-01	95.58	0.44	96.73
7.55e-01	95.53	3.25e-01	99.20	0.22	99.21
3.79e-01	97.64	7.19e-02	99.99	0.06	99.92
1.39e-01	98.41	1.79e-05	100	0.01	100
1.18e-01	99.07				
6.81e-02	99.45				
4.68e-02	99.71				
2.77e-02	99.87				
0,01300	99.94				
0,00598	99.97				
0,00309	99.99				
0,000732	99.99				
0.0000119	100				

Após a rotação varimax (Tabelas 7, 8 e 9), considerando os dados de razão e diferença juntos, observou-se alta correlação genética entre o primeiro fator entre as variáveis diferença e razão de CA, CR e CT, esse fator foi denominado tamanho. Para o segundo fator, observou-se alta correlação genética entre diferença de G e razão de PCG, G e IVG, esse fator foi nomeado germinação I. O terceiro fator foi formado pelas características razão e diferença para T50 e TG e foi denominado germinação II. O quarto fator foi denominado germinação III, e agrupou diferença para IVG e PCG, os quais apresentaram-se fortemente correlacionados. Quando analisados de forma individual, razão e diferença agruparam as variáveis em três fatores, o primeiro denominado tamanho em que CA, CR e CT foram agrupadas, o segundo denominado germinação I, no qual PCG, G e IVG apresentaram alta correlação entre elas e, portanto, foram agrupadas, e o terceiro fator, denominado germinação II em que T50 e TG foram agrupadas.. A Figura 10 mostra os fatores formados pela condensação das variáveis de acordo com o conjunto de dados utilizados.

Tabela 7: Cargas fatoriais após a rotação varimax e comunalidade para os dados de razão e diferença avaliados juntos. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.

Variáveis*	Tamanho	Germinação I	Germinação II	Germinação III	Comunalidade
r_CPA	-0.859	-0.074	0.005	0.132	0.799
r_CR	-0.815	0.033	-0.063	-0.285	0.798
r_CT	-0.987	-0.035	-0.026	-0.074	0.982
r_PCG	0.082	-0.746	-0.164	0.191	0.638
r_G	-0.019	-0.879	0.018	-0.281	0.854
r_IVG	-0.152	-0.892	-0.234	-0.258	0.943
r_t50	-0.049	0.066	0.932	0.090	0.885
r_TG	0.088	-0.094	-0.917	-0.047	0.860
d_CPA	0.893	0.086	-0.117	-0.166	0.861
d_CR	0.834	-0.082	-0.108	0.119	0.802
d_CT	0.978	0.001	-0.127	-0.025	0.981
d_PCG	-0.022	0.166	0.060	0.754	0.614
d_G	0.009	0.863	-0.084	0.384	0.901
d_IVG	0.096	0.404	0.136	0.867	0.949
d_t50	-0.045	-0.275	-0.849	0.213	0.846
d_TG	-0.128	-0.139	0.856	0.300	0.858

* r= variável obtida pela razão, d=variável obtida pela diferença, PCG= porcentagem da primeira contagem de germinação, IVG= índice de velocidade de germinação, G= porcentagem final de germinação, T50= tempo médio para germinação de 50 % das sementes, TG= taxa de germinação, CR= comprimento da radícula, CA= comprimento da parte aérea e CT= comprimento total.

Tabela 8: Cargas fatoriais após a rotação varimax e comunalidade para os dados de razão. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.

Variáveis*	Tamanho	Germinação I	Germinação II	Comunalidade
r_CH	-0.008	0.864	-0.061	0.807
r_CPA	-0.037	0.829	0.037	0.805
r_CT	-0.037	0.992	-0.023	0.992
r_PCG	-0.742	-0.124	0.128	0.583
r_GER	-0.905	0.051	-0.032	0.823
r_IVG	-0.931	0.197	0.200	0.946
r_t50	0.090	-0.002	-0.929	0.873
r_TG	-0.140	-0.044	0.927	0.880

* d=variável obtida pela diferença, r= variável obtida pela razão, PCG= porcentagem da primeira contagem de germinação, IVG= índice de velocidade de germinação, G= porcentagem final de germinação, T50= tempo médio para germinação de 50 % das sementes, TG= taxa de germinação, CR= comprimento da radícula, CA= comprimento da parte aérea e CT= comprimento total.

Tabela 9: Cargas fatoriais após a rotação varimax e comunalidade para os dados de diferença. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.

Variáveis*	Tamanho	Germinação I	Germinação II	Comunalidade
d_CPA	-0.867	0.053	-0.093	0.763
d_CR	-0.887	-0.083	-0.034	0.794
d_CT	-0.993	-0.017	-0.072	0.992
d_PCG	0.056	-0.810	0.076	0.664
d_GER	0.000	-0.752	-0.096	0.574
d_IVG	-0.042	-0.946	0.148	0.919
d_t50	0.006	-0.005	-0.851	0.724
d_TG	0.201	-0.114	0.833	0.747

d=variável obtida pela diferença, PCG= porcentagem da primeira contagem de germinação, IVG= índice de velocidade de germinação, G= porcentagem final de germinação, T50= tempo médio para germinação de 50 % das sementes, TG= taxa de germinação, CR= comprimento da radícula, CA= comprimento da parte aérea e CT= comprimento total.

Para construção do ideótipo1 tolerante ao déficit hídrico durante a germinação, os valores genotípicos médios padrões mínimos foram utilizados para as características de diferença, e os valores genotípicos médios máximos para as características de razão. Os demais ideótipos foram construídos a partir da combinação de desejável ou indesejável para cada um dos fatores formados, conforme exemplificado na Tabela 10.

Tabela 10: Ideótipos projetados com base na combinação de fatores desejáveis e indesejáveis, de acordo com o objetivo da seleção utilizando dois fatores. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.

Ideótipo	Fator 1	Fator 2
1	Desejável	Desejável
2	Desejável	Indesejável
3	Indesejável	Desejável
4	Indesejável	Indesejável

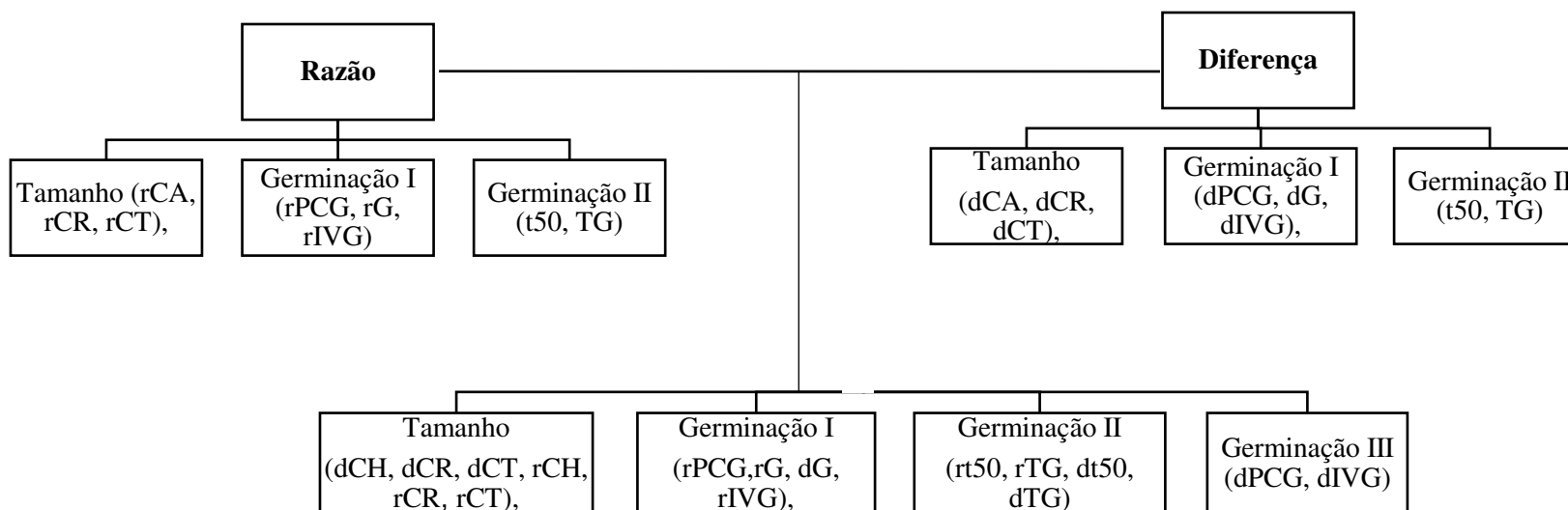


Figura 8: Agrupamento das características em fatores para os dados de razão e diferença quando analisados individualmente e em conjunto. d=variável obtida pela diferença, r= variável obtida pela razão, PCG= porcentagem da primeira contagem de germinação, IVG= índice de velocidade de germinação, G= porcentagem final de germinação, T50= tempo médio para germinação de 50 % das sementes, TG= taxa de germinação, CR= comprimento da radícula, CA= comprimento da parte aérea e CT= comprimento total. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.

A Tabela 11 apresenta o ranking dos 50 genótipos de acordo com o índice FAI-BLUP e a probabilidade em relação à distância do ideótipo. Será analisado o ideótipo de tolerância, o qual apresenta características desejáveis para os fatores tamanho, germinação I e germinação II, o ideótipo de tamanho, o qual apresenta características desejáveis apenas para o fator tamanho, o ideótipo de germinação I, o qual apresenta características desejáveis apenas para o fator germinação I, e o ideótipo de germinação II, o qual apresenta características desejáveis apenas para o fator germinação II.

O acesso LA716 (*S. pennellii*), foi ranqueado como mais próximo ao ideótipo de tolerância ao déficit hídrico durante a germinação, seguido pela IL 1-4-18 tanto com os dados de diferença quanto com os dados de razão. A IL 4-2 foi ranqueada como mais próxima ao ideótipo de germinação I, e a IL 11-4-1 como mais próxima ao ideótipo de germinação II também nos dois conjuntos de dados. Para o fator tamanho a IL 10-2-2 foi ranqueada como a mais próxima ao ideótipo para os dados de razão, e a IL 3-4 para os dados de diferença. Esse resultado isoladamente poderia levar a conclusão de que as duas comparações são igualmente eficientes para a seleção de genótipos tolerantes durante a fase de germinação. Contudo, os dados de diferença ranquearam a cultivar Santa Clara, padrão de sensibilidade entre os dez genótipos mais próximos ao ideótipo de tolerância, enquanto que os dados de razão a ranquearam como 18^a. Dessa maneira as demais interpretações serão realizadas utilizando apenas os dados da razão.

As linhagens IL 1-4-18, IL 2-3, IL 1-2, IL 9-2 e IL 10-1 são as mais tolerantes ao déficit hídrico durante a fase de germinação. A IL 1-4-18 foi considerada a linhagem mais próxima ao ideótipo de tolerância ao déficit hídrico. A cultivar M-82 foi ranqueada como 13^a e Santa Clara como 18^a. A IL 10-2-2 foi ranqueada como a mais próxima ao ideótipo de tamanho, a linhagem M-82 foi ranqueada como 19^a para essa característica e LA716 (*S. pennellii*), como 48^a. A IL 4-2 foi ranqueado como mais próximo ao ideótipo de germinação I, M-82 foi ranqueada como 26^a, *S. pennellii* como 44^o e Santa clara como 45^a. Para o fator germinação II a IL 11-4-1 foi classificada como mais próxima ao ideótipo, a cultivar M-82 foi ranqueada como 24^a e *S. pennellii* como o genótipo mais distante do ideótipo para essa característica.

Tabela 11: Ranking dos 50 genótipos (Gen.), de acordo com o índice FAI-BLUP e a probabilidade de distância do genótipo ao ideótipo (Pro.) para os dados de razão. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.

	Tamanho		Germinação I		Germinação II		Tolerancia	
	Gen	Pro.	Gen.	Pro.	Gen.	Pro.	Gen.	Pro.
1°	IL 10-2-2	0.128	IL 4-2	0.125	IL 11-4-1	0.130	<i>S. pennelli</i>	0.099
2°	cv. Sta Clara	0.121	IL 4-4	0.089	IL 2-4	0.100	IL 1-4-18	0.066
3°	IL 3-4	0.116	IL 9-3	0.086	IL 12-1-1	0.096	IL 2-3	0.064
4°	IL 9-1-2	0.113	IL 4-1-1	0.084	IL 7-1	0.095	IL 1-2	0.060
5°	IL 9-3-1	0.103	IL 2-6	0.084	IL 9-1-3	0.092	IL 9-2	0.060
6°	IL 3-5	0.099	IL 1-1-2	0.083	IL 9-3-2	0.092	IL 10-1	0.059
7°	IL 11-2	0.097	IL 9-1	0.082	IL 8-1-3	0.091	IL 12-1-1	0.057
8°	IL 9-3	0.092	IL 8-2-1	0.079	IL 8-3-1	0.091	IL 9-1-2	0.056
9°	IL 6-4	0.091	IL 6-1	0.077	IL 7-5-5	0.091	IL 9-1	0.056
10°	IL 7-4-1	0.085	IL 8-2-1	0.077	IL 2-1-1	0.089	IL 3-5	0.055
11°	IL 4-1	0.085	IL 10-2	0.075	IL 5-2	0.086	IL 11-4-1	0.055
12°	IL 8-1-1	0.085	IL 10-1	0.072	IL 9-2-5	0.085	IL 2-6	0.054
13°	IL 6-1	0.084	IL 2-6	0.071	IL 8-1-1	0.083	cv. M-82	0.054
14°	IL 9-1-3	0.084	IL 9-2-5	0.071	IL 10-1-1	0.083	IL 6-1	0.053
15°	IL 2-6	0.083	IL 4-1	0.071	IL 1-3	0.082	IL 4-1	0.053
16°	IL 5-1	0.083	IL 6-4	0.069	IL 6-1	0.079	IL 8-1-1	0.052
17°	IL 8-1-3	0.082	IL 3-5	0.068	IL 8-3	0.078	IL 1-4	0.052
18°	IL 3-4	0.080	IL 10-1-1	0.067	IL 2-6-5	0.078	cv. Sta Clara	0.052
19°	cv. M-82	0.080	IL 5-2	0.067	IL 9-3-1	0.077	IL 4-4	0.052
20°	IL 1-1-2	0.079	IL 1-3	0.067	IL 5-1	0.073	IL 8-3-1	0.051
21°	IL 9-2	0.078	IL 7-4-1	0.066	IL 10-2-2	0.073	IL 11-2	0.051
22°	IL 1-4	0.077	IL 5-1	0.066	IL 10-2	0.072	IL 6-4	0.051
23°	IL 2-1-1	0.075	IL 6-1	0.064	IL 1-2	0.071	IL 9-3-1	0.051
24°	IL 8-3-1	0.074	IL 9-3-2	0.063	cv. M-82	0.070	IL 10-2-2	0.051
25°	IL 7-5-5	0.073	IL 8-3	0.063	IL 3-4	0.069	IL 2-6-5	0.051
26°	IL 2-6	0.073	cv. M-82	0.063	IL 9-1-2	0.069	IL 4-1-1	0.051
27°	IL 2-6-5	0.072	IL 7-1	0.062	IL 11-2	0.069	IL 2-6	0.050
28°	IL 10-1	0.072	IL 2-3	0.062	IL 8-2-1	0.069	IL 2-1-1	0.050
29°	IL 8-2-1	0.072	IL 2-6-5	0.061	IL 9-2	0.068	IL 10-1-1	0.050
30°	IL 4-1-1	0.072	IL 8-3-1	0.061	IL 9-1	0.068	IL 5-2	0.050
31°	IL 9-2-5	0.069	IL 1-4	0.060	IL 4-1	0.068	IL 3-4	0.049
32°	IL 4-4	0.069	IL 8-1-1	0.059	IL 2-6	0.067	IL 4-2	0.049
33°	IL 8-2-1	0.068	IL 11-2	0.058	IL 1-4	0.066	IL 8-1-3	0.049
34°	IL 1-2	0.067	IL 12-1-1	0.058	IL 4-4	0.066	IL 8-2-1	0.049
35°	IL 12-1-1	0.065	IL 8-1-3	0.057	IL 4-1-1	0.065	IL 5-1	0.049
36°	IL 2-4	0.064	IL 2-4	0.057	IL 7-4-1	0.064	IL 8-2-1	0.048
37°	IL 8-3	0.064	IL 3-4	0.057	IL 10-1	0.064	IL 9-3-2	0.048
38°	IL 5-2	0.063	IL 9-3-1	0.057	IL 6-1	0.064	IL 3-4	0.048
39°	IL 1-3	0.062	IL 7-5-5	0.056	IL 2-6	0.062	IL 10-2	0.048
40°	IL 10-2	0.062	IL 3-4	0.056	IL 6-4	0.061	IL 9-2-5	0.048
41°	IL 9-3-2	0.061	IL 2-1-1	0.056	cv. Sta Clara	0.061	IL 1-3	0.047
42°	IL 7-1	0.061	IL 1-2	0.055	IL 1-1-2	0.060	IL 1-1-2	0.047
43°	IL 6-1	0.060	IL 9-1-3	0.055	IL 8-2-1	0.060	IL 9-1-3	0.047
44°	IL 10-1-1	0.060	<i>S. pennelli</i>	0.053	IL 3-5	0.058	IL 2-4	0.046
45°	IL 2-3	0.059	cv. Sta Clara	0.053	IL 3-4	0.058	IL 6-1	0.046
46°	IL 4-2	0.059	IL 11-4-1	0.052	IL 4-2	0.056	IL 7-1	0.045
47°	IL 9-1	0.058	IL 9-2	0.051	IL 2-3	0.055	IL 9-3	0.045
48°	<i>S. pennelli</i>	0.057	IL 1-4-18	0.049	IL 9-3	0.054	IL 7-5-5	0.045
49°	IL 1-4-18	0.055	IL 9-1-2	0.049	IL 1-4-18	0.052	IL 7-4-1	0.045
50°	IL 11-4-1	0.049	IL 10-2-2	0.048	<i>S. pennelli</i>	0.050	IL 8-3	0.043

Tabela 12: Ranking dos 50 genótipos (Gen.), de acordo com o índice FAI-BLUP e a probabilidade de distância do genótipo ao ideótipo (Pro.) para os dados de diferença. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.

	Tamanho		Germinação I		Germinação II		Tolerância	
	Gen.	Pro.	Gen	Pro.	Gen	Pro.	Gen.	Pro.
1°	IL 3-4	0.259	IL 4-2	0.166	IL 11-4-1	0.260	S. pennelli	0.253
2°	IL 6-4	0.252	IL 8-3	0.150	IL 9-3-2	0.199	IL 1-4-18	0.161
3°	IL 11-2	0.234	IL 8-2-1	0.144	IL 7-1	0.178	IL 12-1-1	0.134
4°	IL 6-1	0.223	IL 2-6	0.142	IL 9-2-5	0.171	IL 9-1-2	0.127
5°	IL 9-3	0.214	IL 7-4-1	0.142	IL 5-2	0.166	IL 1-2	0.124
6°	IL 3-4	0.211	IL 6-1	0.133	IL 10-1-1	0.164	IL 2-3	0.121
7°	IL 9-3-1	0.206	IL 4-4	0.133	IL 9-1-3	0.158	IL 9-1	0.120
8°	IL 10-2-2	0.196	IL 2-4	0.132	IL 7-5-5	0.157	IL 10-1	0.120
9°	IL 4-1	0.196	IL 8-2-1	0.131	IL 2-4	0.153	IL 3-5	0.119
10°	IL 5-1	0.194	IL 9-3	0.131	IL 2-6-5	0.148	cv. Sta Clara	0.115
11°	IL 1-1-2	0.191	IL 1-3	0.130	IL 10-2	0.148	IL 8-3-1	0.115
12°	IL 1-4	0.190	IL 9-1	0.125	IL 2-1-1	0.147	IL 9-2	0.113
13°	cv. M-82	0.187	IL 8-3-1	0.122	IL 1-3	0.144	IL 8-1-1	0.109
14°	IL 2-6	0.187	IL 1-1-2	0.122	IL 6-1	0.144	IL 2-6	0.109
15°	IL 4-1-1	0.184	IL 7-1	0.121	IL 12-1-1	0.142	IL 8-1-3	0.106
16°	IL 9-1-3	0.181	IL 3-5	0.120	IL 8-1-3	0.141	cv. M-82	0.105
17°	IL 9-2	0.180	cv. Sta Clara	0.119	IL 8-3	0.138	IL 11-4-1	0.103
18°	IL 9-1-2	0.179	IL 10-2	0.115	IL 8-1-1	0.137	IL 2-1-1	0.102
19°	IL 8-2-1	0.174	IL 4-1-1	0.114	IL 8-3-1	0.136	IL 9-3-1	0.102
20°	IL 7-5-5	0.173	IL 10-1-1	0.112	IL 5-1	0.133	IL 4-1	0.101
21°	IL 8-1-1	0.171	IL 5-2	0.111	IL 9-1	0.127	IL 4-4	0.100
22°	cv. Sta Clara	0.171	IL 1-2	0.111	IL 9-2	0.127	IL 10-2-2	0.100
23°	IL 2-6-5	0.168	IL 1-4-18	0.111	IL 1-2	0.126	IL 7-4-1	0.099
24°	IL 10-1	0.168	IL 1-4	0.111	IL 9-3-1	0.126	IL 2-6-5	0.099
25°	IL 7-4-1	0.164	IL 9-3-2	0.106	IL 4-4	0.124	IL 10-1-1	0.098
26°	IL 2-3	0.164	IL 9-2-5	0.105	cv. M-82	0.123	IL 8-2-1	0.098
27°	IL 3-5	0.161	IL 12-1-1	0.105	IL 10-2-2	0.121	IL 2-4	0.097
28°	IL 2-6	0.157	IL 8-1-3	0.105	IL 4-1-1	0.121	IL 11-2	0.097
29°	IL 8-1-3	0.157	IL 2-1-1	0.105	IL 3-4	0.120	IL 2-6	0.096
30°	IL 2-1-1	0.155	IL 10-1	0.105	IL 2-3	0.120	IL 1-4	0.096
31°	IL 8-2-1	0.145	IL 3-4	0.103	IL 4-1	0.120	IL 6-1	0.096
32°	IL 10-2	0.145	IL 4-1	0.103	IL 1-4	0.119	IL 5-2	0.094
33°	IL 4-4	0.145	IL 2-6	0.103	IL 2-6	0.118	IL 4-2	0.093
34°	IL 9-2-5	0.140	IL 2-3	0.102	IL 10-1	0.117	IL 3-4	0.093
35°	IL 1-2	0.140	cv. M-82	0.101	IL 11-2	0.115	IL 5-1	0.093
36°	IL 4-2	0.138	IL 3-4	0.101	IL 8-2-1	0.114	IL 4-1-1	0.092
37°	IL 5-2	0.134	IL 6-1	0.100	IL 6-1	0.113	IL 6-4	0.092
38°	IL 10-1-1	0.131	IL 5-1	0.100	IL 9-1-2	0.112	IL 1-3	0.091
39°	IL 1-3	0.130	IL 2-6-5	0.098	IL 1-1-2	0.109	IL 8-2-1	0.091
40°	IL 6-1	0.126	IL 6-4	0.095	IL 8-2-1	0.109	IL 3-4	0.091
41°	IL 8-3-1	0.125	S. pennelli	0.095	IL 2-6	0.108	IL 9-1-3	0.090
42°	IL 9-1	0.125	IL 7-5-5	0.095	IL 6-4	0.106	IL 7-5-5	0.089
43°	IL 1-4-18	0.124	IL 8-1-1	0.094	IL 4-2	0.105	IL 9-3-2	0.088
44°	IL 9-3-2	0.120	IL 11-2	0.091	IL 1-4-18	0.102	IL 1-1-2	0.088
45°	IL 2-4	0.116	IL 9-1-3	0.088	IL 7-4-1	0.098	IL 10-2	0.088
46°	IL 12-1-1	0.115	IL 9-1-2	0.088	cv. Sta Clara	0.096	IL 6-1	0.087
47°	IL 8-3	0.114	IL 9-3-1	0.088	IL 3-4	0.094	IL 9-2-5	0.087
48°	IL 7-1	0.111	IL 9-2	0.087	LA716	0.093	IL 8-3	0.084
49°	S. pennelli	0.092	IL 11-4-1	0.085	IL 3-5	0.092	IL 7-1	0.082
50°	IL 11-4-1	0.091	IL 10-2-2	0.075	IL 9-3	0.091	IL 9-3	0.082

4.3 Análise de fatores e agrupamento dos genótipos

A análise de fatores invertendo a matriz de dados, com os dados de diferença levou a formação de três fatores, cada um dos quais agrupou um conjunto de genótipos. O grupo I foi constituído por 39 genótipos, incluindo cv. M-82. O grupo II foi composto por 8 genótipos, e agrupou o padrão de sensibilidade cv. Santa Clara e a linhagem selecionada como mais tolerante IL 1-4-18. O grupo III foi composto por 3 genótipos, dentre os quais o padrão de tolerância ao déficit hídrico *S. pennellii*.

Os dados da razão levaram a formação de 2 grupos. O grupo I foi constituído por 30 genótipos, dentre os quais foram incluídos os padrões de sensibilidade M-82 e Santa Clara. O grupo II, por sua vez foi formado por 20 genótipos, dentre os quais o acesso de *S. pennellii*, padrão de tolerância ao déficit hídrico e a linhagem IL 1-4-18, selecionada como mais tolerante ao déficit hídrico no estágio de germinação. Dessa forma, a inversão da matriz de dados da razão, agrupa genótipos tolerantes e sensíveis em grupos diferentes.

Tabela 13: Agrupamento dos genótipos utilizando razão e diferença. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2018.

Diferença	Grupo I	IL 1-3, IL 2-1-1, IL 2-4, IL 2-6, IL 1-1-2, IL 9-3, IL 2-6, IL 3-5, IL 4-1, IL 4-1-1, IL 4-2, IL 9-1, IL 8-2-1, IL 5-2, IL 5-1, IL 4-4, IL 6-1, IL 10-2, IL 6-1, IL 6-4, IL 10-1, IL 9-3-2, IL 11-4-1, IL 7-1, IL 12-1-1, IL 8-3, IL 7-5-5, IL 10-1-1, IL 8-1-3, IL 9-1-3, IL 10-2-2, IL 7-4-1, IL 11-2, IL 2-6-5, IL 9-1-2, IL 8-2-1, IL 3-4, IL 9-2, cv. M-82
	Grupo II	IL 1-4, IL 1-2, IL 2-3, IL 1-4-18, IL 8-3-1, IL 9-2-5, IL 3-4, cv. Sta Clara
	Grupo III	IL 8-1-1, IL 9-3-1, <i>S. pennellii</i>
Razão	Grupo I	IL 2-1-1, IL 2-4, IL 5-2, IL 6-1, IL 10-2, cv. M-82, IL 6-1, IL 6-4, IL 9-3-2, IL 11-4-1, IL 8-3-1, IL 7-1, IL 12-1-1, IL 8-3, IL 7-5-5, IL 10-1-1, IL 9-2-5, IL 8-1-3, IL 9-1-3, IL 10-2-2, IL 8-1-1, IL 7-4-1, IL 11-2, IL 2-6-5, IL 9-1-2, IL 9-3-1, IL 3-4, IL 3-4, IL 9-2, cv. Sta Clara
	Grupo II	IL 1-4, IL 1-3, IL 1-2, IL 2-3, IL 2-6, IL 1-1-2, IL 1-4-18, IL 9-3, IL 2-6, IL 3-5, IL 4-1, IL 4-1-1, IL 4-2, IL 9-1, IL 8-2-1, IL 5-1, IL 4-4, IL 10-1, IL 8-2-1, <i>S. pennellii</i>

5 DISCUSSÃO

O déficit hídrico afeta negativamente a germinação e o crescimento das plântulas (Van den Berg e Zeng, 2006). Utilizar a quantidade correta de PEG é extremamente importante para garantir que a simulação do potencial efeito do déficit hídrico sobre a semente seja eficiente (Brdar-Jokanović e Zdravković, 2015). O potencial osmótico -0,3 MPa foi descrito por Borba et al. (2017) e Jangid e Dwivedi (2015) como adequado para identificar genótipos de tomateiro tolerantes ao déficit hídrico e por isso foi utilizado nesse trabalho.

O efeito de genótipos foi significativo para todas as características avaliadas nos dois ambientes de crescimento, o que indica variabilidade genética entre os materiais avaliados. Com exceção do comprimento da radícula e T50, todas as demais características foram, em geral, reduzidas no ambiente com PEG em comparação ao ambiente controle. Evidências observadas em diferentes culturas sugerem que o baixo potencial de água do meio externo, o qual torna a água menos disponível para a semente por dificultar sua absorção, é o principal fator limitante da germinação e desenvolvimento inicial das plântulas sob déficit hídrico (Kaufman, 1969; Ungar, 1978; Bliss et al., 1986; Haigh e Barlow, 1987; Bradford, 1995; Chartzoulakis e Klapaki, 2000).

A redução da expressão fenotípica dos caracteres relacionados a germinação sob déficit hídrico, são coerentes aos encontrados por Meo (2000), Bibi et al. (2010) e Ali et al. (2011). A magnitude do quadrado médio sob déficit hídrico foi em geral maior que sem déficit hídrico. Isso sugere que a expressão ou variabilidade foi reduzida sob condições de déficit como descrito por Dhanda et al. (2004). Ao estudar o efeito do déficit hídrico induzido pelo PEG-6000 sobre sementes de girassol, Ahmad et al. (2010) observaram que a germinação e a altura da planta diminuíram enquanto o comprimento da raiz aumentou. Moraes et al. (2005), avaliando como a baixa disponibilidade hídrica do substrato umedecido com solução de PEG afeta o potencial germinativo de sementes de feijão, observaram que em baixos potenciais osmóticos houve redução na porcentagem de germinação, no número de plântulas normais obtidas na primeira contagem do teste de germinação, na velocidade de germinação, no comprimento do hipocótilo e da radícula.

Anatomicamente, a semente de tomate é composta pelo envoltório, denominado testa, pelo embrião e o endosperma (Esaú, 1953). Para que a germinação ocorra, a força hidráulica do embrião deve exceder a força oposta da testa e dos demais tecidos (Hegarty, 1978; Liptay e Schopfer, 1983; Bradford, 1986; Groot e Karsen, 1987). Portanto, a germinação das sementes de tomate pode ser influenciada pelas composições físicas, químicas e genéticas do embrião, endosperma e / ou testa.

As diferenças nos desempenhos dos genótipos avaliados podem ser atribuídas aos fragmentos de *S. pennellii* que foram introgrididos em M-82, os quais podem ter afetado a germinação por meio de diferenças no vigor do embrião, na espessura do endosperma, nas propriedades físicas de permeabilidade das paredes das células do endosperma, no tempo de início e na taxa de atividade enzimática, as quais modificam as propriedades da parede celular do endosperma. Os fragmentos introgrididos podem ter modificado também a taxa de liberação de giberilina pelo embrião, a qual é essencial para o enfraquecimento do endosperma, o potencial hídrico de base requerido para a germinação das sementes, a taxa de atividades metabólicas no embrião e no endosperma sob estresse osmótico, a osmoregulação durante a germinação, ou qualquer outro processo fisiológico ou metabólico que seja essencial para a germinação (Bradford, 1995).

O atraso significativo na germinação das sementes observado em resposta aos tratamentos com PEG evidenciado pelo aumento no T50 e reduções em TG, PCG e IVG pode ser explicado pela menor taxa de embebição e pela variação entre genótipos quanto ao potencial hídrico requerido para a expansão das células (Vahdati et al., 2009). Características genéticas do embrião são primordiais para determinação da taxa de germinação de sementes de tomate (Liptay e Schopfer, 1983). Contudo, baixos potenciais osmóticos afetam negativamente a embebição das sementes, e assim retardam ou previnem o enfraquecimento das forças restritivas do endosperma e da testa, resultando em taxas reduzidas e até mesmo inibição de germinação (Dahal et al., 1990; Turk et al., 2004). Teixeira et al. (2008), trabalhando com sementes de soja, também verificaram redução na porcentagem de germinação à medida que os potenciais osmóticos das soluções de PEG tornaram-se mais negativos. As porcentagens de germinação maiores foram registradas na condição sem déficit hídrico e as menores em PEG. O PEG não é absorvido pela

semente, logo a redução na porcentagem de germinação observada nessas condições ocorre pela redução do gradiente de potencial hídrico entre as sementes e seus meios circundantes e não por efeito tóxico desse reagente (Mehra et al., 2003).

Sharp e Davies (1989) observaram que em plantas crescendo sob solos secos o desenvolvimento do sistema radicular em comparação a parte aérea é menos afetado e pode inclusive ser promovido. Alguns estudos observaram reduções no comprimento da radícula sob déficit hídrico (Whalley et al., 1998; Jajarmi, 2009). Nesse trabalho, entretanto, foi observado incremento no comprimento da radícula das plântulas de todos os genótipos quando submetidos ao déficit hídrico. Essa tendência de aumento do crescimento das raízes em condições de seca ou irrigação deficitária foi registrada em outras espécies como trigo (Almagrabra, 2012), sorgo (Younis et al., 2000; Bibi et al., 2010), ervilha (Okçu et al., 2005), milho (Leila, 2007), e no tomateiro por Mingo et al., (2004), Ghebremariam et al., (2013), e Prokic e Stikic (2012).

O alongamento precoce e rápido das raízes é uma indicação importante de resistência ao déficit hídrico (Kulkarni e Deshpande, 2007). A capacidade de alongamento contínuo da raiz em situação de déficit hídrico é uma característica frequente de genótipos tolerantes. O comprimento da raiz nos estágios iniciais de desenvolvimento proporciona uma boa estimativa do crescimento da raiz em estágios mais avançados de desenvolvimento (Ali et al., 2011; Rajendran et al., 2011). A promoção do crescimento da raiz durante períodos de baixa disponibilidade de água no solo pode proporcionar várias vantagens, como uma melhor exploração de água e nutrientes do solo em condições ambientais desfavoráveis (Sharp et al., 2004).

O maior desenvolvimento do sistema radicular em resposta ao déficit hídrico sugere que a expressão de certos genes controlando a formação de raízes é estimulado pelas condições de déficit hídrico (Badiane et al., 2004). Embora nesse trabalho não tenha sido avaliado o conteúdo hormonal das plântulas, acredita-se que incrementos no crescimento do sistema radicular sob condições de déficit hídrico geralmente estejam associadas ao balanço dos hormônios ácido abscísico (Sharp, 2002), a auxina (Ribaut e Pilet, 1991), e o etileno (Spollen et al., 2000). Sob déficit hídrico observa-se um acúmulo de ácido abscísico nas raízes de diversas espécies,

esse hormônio promove o crescimento das raízes por meio da inibição do etileno (Spollen et al., 2000). O acúmulo de auxina também é essencial para o desenvolvimento das raízes sob déficit hídrico (Saab et al., 1990; Sharp et al., 1994). Como a auxina é precursora do etileno, o qual inibe o crescimento radicular, os hormônios ácido abscísico e ácido indol acético precisam estar balanceados de forma que a auxina atue apenas promovendo o crescimento radicular, tendo seu efeito de produção de etileno neutralizado pela ação do ácido abscísico.

Reduções no tamanho da parte aérea foram observadas para quase todos os genótipos avaliados na condição de déficit hídrico. Abdel-Raheem et al. (2007) e Kulkarni Deshpande (2007) também observaram declínio do crescimento da parte aérea de genótipos de tomateiro quando submetidas a déficit hídrico induzido por solução de PEG. A diminuição do comprimento da parte aérea nessa condição pode estar relacionada a menor absorção de água, reduzindo sua disponibilidade para o metabolismo, o que reduz a velocidade das reações metabólicas e o alongamento celular (Kaydan e Yagmur, 2008; Girotto et al., 2012).

Essa relação entre o potencial hídrico e o comprimento das plântulas também foi observado por outros pesquisadores. Kerepsi e Galiba (2000), estudando genótipos de trigo, observaram que com a indução de déficit hídrico por meio de solução de PEG 6000 houve redução significativa no tamanho da parte aérea. Ávila et al. (2007) observaram que, sob níveis mais negativos de potencial osmótico induzido por manitol, o decréscimo na absorção de água pelas sementes causou redução drástica no comprimento do hipocótilo quando comparados com o do controle, evidenciando o efeito prejudicial da baixa disponibilidade de água. Segundo Girotto et al. (2012), a redução no comprimento das plântulas em condição de déficit hídrico, se dá pelo atraso na divisão e a alongação celulares quando há baixa disponibilidade de água.

Ghebremariam et al. (2013), ao avaliar a tolerância de linhagens de tomateiro ao déficit hídrico durante a germinação, observaram que não existe uma correlação entre o comprimento da parte aérea e o grau de tolerância ao déficit hídrico, uma vez que linhagens classificadas como tolerantes e sensíveis apresentaram tanto comprimentos de parte aérea maior como menor. Resultado similar foi descrito por Kulkarni e Deshpande (2007).

O declínio do comprimento total das plântulas sob condições de déficit hídrico não é incomum. Esse fenômeno foi relatado em diferentes culturas (Waseem et al., 2006; Kulkarni and Deshpande, 2007; Jajarmi, 2009; Hamayun et al., 2010; Sultan, et al., 2012). Ahmad et al. (2010) afirma que quando submetidas a déficit hídrico, as plântulas têm o crescimento severamente reduzido, contudo genótipos com potencial genético para manter maior crescimento sob essas condições possuem alto grau de tolerância a esse estresse.

O teste de Dunnett indicou que a mudança na condição ambiental alterou a resposta dos genótipos para maioria das características. Isso é indicativo de que as características avaliadas apresentam alta interação genótipo por ambiente (GxE) e logo sua expressão depende do ambiente (Bayoumi et al., 2008). Para caracteres constitutivos em que a interação GxE não é tão expressiva seria possível selecionar genótipos tolerantes ao déficit hídrico em condições de crescimento sem déficit hídrico, contudo para as características avaliadas, os genótipos precisam ser submetidos a condição de déficit para que seu desempenho seja avaliado de forma eficiente.

Várias abordagens têm sido utilizadas para concluir a respeito da tolerância ou sensibilidade de genótipos ao déficit hídrico, a partir da comparação entre o desempenho dos genótipos sob estresse e em condição sem estresse. Rosielle e Hamblin (1981) propuseram um índice de tolerância ao estresse baseado unicamente na diferença entre o desempenho na condição sem estresse e na condição com estresse. Bouslama e Schapaugh (1984) propuseram um índice de estabilidade o qual utiliza apenas a razão entre os resultados obtidos nas duas condições. Outras abordagens utilizadas são a % de redução relativa, índice de susceptibilidade ao estresse (Fischer e Maurer, 1978), índice relativo a seca (Fischer e Wood, 1979), índice de superioridade (Lin e Binns, 1988), índice de tolerância ao estresse (Fernandez, 1992), índice de tolerância a seca (Lan, 1998), índice de tolerância modificado (Farshadfar e Sutka, 2002), índice de tolerância abiótica (Moosavi et al., 2008), índice de porcentagem de susceptibilidade (Moosavi et al., 2008), índice de sensibilidade a seca (Farshadfar e Javadinia, 2011). Entretanto, nenhuma dessas abordagens é amplamente aceita como a ideal para selecionar genótipos tolerantes ao déficit hídrico. Nesse estudo, utilizamos a razão e a diferença para comparar os genótipos nas duas condições de crescimento. Além

disso, utilizamos a análise de fatores para agrupar as características avaliadas e calculamos a distância de cada genótipo em relação aos ideótipos de crescimento, germinação e tolerância a déficit hídrico. O ranqueamento de cada genótipo estudado, incluindo os padrões de sensibilidade e tolerância, segundo o índice FAI-BLUP (Rocha et al., 2018) foram utilizados para concluir a respeito de qual a melhor maneira de comparar o desempenho dos genótipos e fazer inferências sobre sua tolerância ao déficit hídrico.

A análise de fatores dos dados de razão e diferença juntos levou a formação de quatro fatores, crescimento, germinação I, germinação II e germinação III. Portanto, é possível inferir que razão e diferença explicam a variação dos genótipos de maneira similar para as características relacionadas a tamanho, contudo a variação dos genótipos para as características PCG e IVG tem interpretações diferentes, a depender da adoção dos dados de razão ou de diferença.

O índice FAI-BLUP difere de outras abordagens multivariadas utilizadas para a seleção de plantas, tais como o índice clássico, que tende a se concentrar em poucas características e não considera a morfologia e fisiologia da planta. A focalização direta simplifica o problema, no entanto, informações importantes podem não ser consideradas na análise de dados. O índice clássico de Smith-Hazel (1936), não deve ser utilizado quando se diagnostica multicolinearidade na matriz de covariância fenotípica, uma vez que essa inflaciona os erros. Erros inflados resultam em testes de significância inexatos para os preditores, o que significa que preditores importantes podem não ser significativos, mesmo que sejam verdadeiramente influentes, porque foram retirados do modelo em substituição a outro preditor colinear para a seleção. O processo pode prosseguir em uma trajetória errada com o risco de conclusões errôneas.

No índice utilizado a multicolinearidade não interfere na seleção dos genótipos (Dormann et al., 2013; Prunier et al., 2015). Além disso, no índice FAIBLUP não é necessário atribuir pesos as variáveis. O índice FAI-BLUP permitiu o ranqueamento dos genótipos (associados com a probabilidade espacial de proximidade ao ideótipo), com base em uma análise multivariada livre de multicolinearidade. A correlação genética - positiva ou negativa - em cada fator foi considerada, preservando as relações entre as características e dando significado biológico aos ideótipos (Rocha et al., 2018).

A análise de fatores agrupou as características avaliadas em três fatores, indicando que o déficit hídrico imposto aos genótipos de tomateiro durante a germinação tem efeitos diferentes sobre características relacionadas a germinação e ao crescimento inicial das plântulas. Vahdati et al. (2009), também observaram que a germinação e o crescimento inicial das plântulas são afetadas de maneira diferente pelo déficit hídrico.

O acesso LA716 (*S. pennellii*) foi ranqueado como mais próximo ao ideótipo de tolerância ao déficit hídrico durante a germinação, sendo selecionado como mais tolerante ao déficit hídrico, tanto com os dados de diferença como com os dados de razão. A cultivar M-82 foi ranqueada como 13ª o que indica que a introgressão de parte do genoma de *S. pennellii* em M-82 aumentou o desempenho das 12 linhagens ranqueadas anteriores a ela, quando submetidas a déficit hídrico durante a germinação.

Considerando uma intensidade de seleção de 15 % as linhagens selecionadas foram IL 1-4-18, IL 2-3, IL 1-2, IL 9-2 e IL 10-1, logo fragmentos introgrididos em diferentes cromossomos (1, 2, 9 e 10), e regiões de um mesmo cromossomo devem estar envolvidas na determinação da tolerância desses genótipos ao déficit hídrico durante a germinação. As plantas respondem ao déficit hídrico por meio da expressão de características quantitativas, os quais envolvem as funções de muitos genes e mecanismos fisiológicos cuja expressão é influenciada por vários fatores ambientais (Levitt, 1980; Blum, 1988; Chaubey e Senadhira, 1994; Richards, 1996). De acordo com Foolad (2004), a tolerância ao déficit hídrico durante a germinação é geneticamente controlada, sendo a aditividade o principal componente genético. Além disso, Gong et al. (2010), comparou a expressão dos genes de duas IL's identificadas como tolerantes ao déficit hídrico durante o crescimento vegetativo e a cultivar M-82, e concluíram que a expressão dos genes de resposta ao déficit hídrico nos genótipos tolerantes pode ser afetados pelos segmentos cromossômicos introgrididos de *S. pennellii* e estes genes podem contribuir para o aumento da tolerância ao déficit hídrico, entretanto existem inúmeros genes diferencialmente expressos em todos os três genótipos que podem desempenhar papéis basais na resposta ao déficit hídrico do tomateiro.

A IL 10-2-2, foi ranqueada como a mais próxima ao ideótipo de tamanho de plântula, a linhagem M-82 foi ranqueada como 19ª para essa característica e o

genótipo 49 (*S. pennellii*), foi considerado o 48º genótipo em relação a distância do ideótipo. Com isso é possível inferir que a introgressão de fragmentos de *S. pennellii* em M-82, promoveu um acréscimo das características relacionadas ao tamanho de plântulas para 18 das 47 linhagens avaliadas. Contudo, esses fragmentos sozinhos, como em LA716 não condicionam boas características de crescimento. Uma possível hipótese é que essas características sejam controladas por mais de um gene e que quando combinados a alguns fragmentos de *S. pennellii* a interação entre genes de M-82 e *S. pennellii* resultem em aumento do tamanho.

S. pennellii foi considerado um dos piores genótipos com relação as características de tamanho de plântula, contudo é importante ressaltar que as sementes desse genótipo são menores que a dos demais genótipos avaliados. Sementes maiores tendem a apresentar uma maior disponibilidade de reservas nutricionais, o que irá possibilitar maior desenvolvimento inicial das plântulas mesmo sob condições de estresse como o déficit hídrico (Pereira et al., 2013). Beckert et al. (2000) e Costa et al. (2004) observaram que em soja as sementes menores são menos afetadas em condições de déficit hídrico, isso porque em sementes menores, o conteúdo de água para atingir o mesmo teor de água, comparado a sementes maiores é menor. Isso pode explicar o fato da cultivar Santa Clara, padrão de sensibilidade, ser ranqueada como um dos melhores genótipos para o fator tamanho de plântulas, uma vez que suas sementes são maiores. Contudo, o tamanho de semente parece não ser a única característica que explica esses resultados, uma vez que a Lin 5 foi ranqueada como o último genótipo para o fator tamanho, e o tamanho de sementes dentre as linhagens avaliadas é relativamente homogêneo.

Embora não apresente bom desempenho em relação crescimento das plântulas, LA716 foi ranqueado como mais próximo ao ideótipo de tolerância ao déficit hídrico durante a germinação. Devido ao grau de contato entre a semente e a água a sensibilidade ao déficit hídrico é inversamente relacionada ao tamanho da semente. Sementes pequenas tendem a ser mais eficientes na absorção de água pelo maior contato com o substrato (Bewley et al., 2013).

A introgressão de genes de *S. pennellii* em M-82 promoveu aumento nas características envolvidas na definição do ideótipo de germinação I de 25 linhagens, e de germinação II de 23, contudo o genoma de M-82 é essencial para que elas sejam expressas.

Ao inverter linhas e colunas da matriz para agrupar os genótipos utilizando a análise de fatores, os dados de razão agruparam os genótipos em dois grupos, um com representantes sabidamente tolerantes e outro com representantes sabidamente sensíveis.

Observou-se coerência entre a classificação dos genótipos como tolerantes pelo índice de seleção e pela análise de agrupamento dos dados de razão. George et al. (2015) também utilizou a análise de agrupamentos para distinguir genótipos de tomateiro tolerantes e sensíveis ao déficit hídrico durante a germinação. O padrão de agrupamento dos genótipos também foi observado por Shahverdikandi et al. (2011), que ao estudar cultivares de canola relataram a formação de um grupo consistindo por linhas tolerantes e outro grupo com linhas susceptíveis. Hassanpanah (2010) ao agrupar genótipos de batata submetidos a déficit hídrico induzido por PEG observou a formação de grupos de genótipos tolerantes, moderados e sensíveis. A análise de agrupamento também foi usada para separar genótipos tolerantes e sensíveis ao déficit hídrico em muitas outras culturas, incluindo o girassol (Saensee et al., 2012), sorgo (Ali et al., 2011), trigo (Farshadfar et al., 2013; Khayatnezhad et al., 2011) e arroz (Abarshahr et al., 2011).

Bayoumi et al. (2008) verificou que os resultados obtidos em experimentos com PEG confirmaram as observações obtidas nos experimentos de campo, onde genótipos mais produtivos, também apresentaram maior vigor nos ensaios com PEG. Esses autores concluíram que a técnica de indução de déficit hídrico com PEG durante a germinação é adequada para realizar o *screening* de um conjunto grande de germoplasma com menor esforço e alta acurácia, embora sugeriram que os resultados podem ser validados por avaliações no estágio de muda e plantas adultas, como também foi proposto por Kulkarni e Desphande (2007). Indicativos de tolerância identificados durante o crescimento inicial das plântulas como crescimento estável das raízes sob condições de déficit hídrico, e o *screening* de genótipos em condições *in vitro* podem simultaneamente dar uma categorização clara e discriminativa dos genótipos tolerantes e sensíveis (Kulkarni e Desphande, 2007).

De acordo com observações de Chaves et al. (2003), Foolad (2005) e Shamim et al. (2014), a resposta do tomateiro ao déficit hídrico é geralmente variável entre os estádios de desenvolvimento. No entanto, Ghebremariam et al. (2013) observaram que os genótipos de tomateiro selecionados como tolerantes durante a

germinação também foram tolerantes durante a fase de crescimento vegetativo. Brdar-Jokanović e Zdravković (2015) estudando a resposta de populações de tomateiro ao déficit hídrico em diferentes estágios de crescimento, também relatam que genótipos selecionados como tolerantes durante a germinação foram tolerantes na fase vegetativa. Logo, embora a resposta dos genótipos de tomateiro ao déficit hídrico imposto nos estágios iniciais não implique necessariamente em uma resposta similar nas fases posteriores de desenvolvimento, esses autores sugerem que para obtenção de um genótipo melhorado para tolerância ao déficit hídrico é importante selecionar dentre aqueles que apresentaram bom desempenho no estágio de germinação os que também apresentem tolerância nos demais estágios de desenvolvimento.

6 CONCLUSÕES

A comparação entre o desempenho dos genótipos em condição com déficit hídrico e sem déficit hídrico por meio da razão é eficiente para discriminar genótipos tolerantes e sensíveis ao déficit hídrico tanto com a utilização do índice FAI-BLUP como pela análise de agrupamento de genótipos utilizando a análise de fatores.

Dentre os materiais estudados, as linhagens IL 1-4-18, IL 2-3, IL 1-2, IL 9-2 e IL 10-1 são as mais tolerantes ao déficit hídrico durante a fase de germinação. Essas linhagens são candidatas a serem utilizadas em novos estudos em outras fases do desenvolvimento, a fim de validá-los como tolerantes ao déficit hídrico. Sublinhagens dessas linhagens podem ser utilizadas a fim de identificar com maior precisão a porção de *S. pennellii* introgridida que condiciona a tolerância ao déficit hídrico.

Tendo em vista as informações derivadas do sequenciamento do genoma do tomateiro, a identificação dos genes candidatos que controlam os traços morfológicos e fisiológicos relacionados a tolerância ao déficit hídrico será possibilitada por meio da exploração do mapa da região introgridida. A identificação de polimorfismo em genes chave controlando essas características poderão ser utilizadas como guias nos programas de melhoramento visando tolerância ao déficit hídrico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aazami, M. A., Torabi, M., and Jalili, E. (2010). In vitro response of promising tomato genotypes for tolerance to osmotic stress. *African Journal of Biotechnology*, 9, 4014-4017.
- Abarshahr, M., Rabiei, B., and Lahigi, H. S. (2011). Assessing genetic diversity of rice varieties under drought stress conditions. *Notulae Scientia Biologicae*, 3, 114.
- Abdel-Raheem, A.T., Ragab, A. R., Kasem, Z. A., Omar, F.D., Samera, A. M. (2007). In vitro selection for tomato plants for drought tolerance via callus culture under polyethylene glycol (PEG), and mannitol treatments. *African Crop Science Society*, 8, 2027-2032.
- ABCSEM. Associação brasileira de comércio de mudas e sementes. Disponível em: <http://www.abcsem.com.br/noticia.php?cod=284>. Acesso em outubro de 2017.
- Ahmad, S., Ahmad, R., Ashraf, M. Y., Ashraf, M., Waraich, E. A. (2009). Sunflower (*Helianthus annuus* L.), response to drought stress at germination and seedling growth stages. *Pakistan Journal of Botany*, 41(2), 647-654.
- Ali, M.A., Jabran, K. S.I., Awan, A., Abbas, E., Zulkiffal, M., Acet, T., Farooq, J., Rehman, A. (2011). Morpho-physiological diversity and its implications for improving drought tolerance in grain sorghum at different growth stages. *African Journal of Crop Science*, 5, 311-320.
- Almaghrabi, A.O. (2012). Impact of drought stress on germination and seedling growth parameters of some wheat cultivars. *Life Science Journal*, 9, 590-598.
- Alseekh, S., Ofner, I., Pleban, T., Tripodi, P., Di Dato, F., Cammareri, M., Zamir, D. (2013). Resolution by recombination: breaking up *Solanum pennellii* introgressions. *Trends in plant science*, 18 (10), p. 536-538.
- Association of official seed analysts – AOSA. Seed vigour testing handbook. East Lansing: AOSA, 2009. 334 p.
- Ávila M. R., Braccini, A. de L., Scapim, C. A., Fagliari, J. R. and dos Santos, J. L. (2007). Influência do estresse hídrico simulado com mannitol na germinação de sementes e crescimento de plântulas de canola. *Revista Brasileira de Sementes*, 29, 98-106.
- Awasthi, R., Kaushal, N., Vadez, V., Turner, N. C., Berger, J., Siddique, K. H., and Nayyar, H. (2014). Individual and combined effects of transient drought and heat stress on carbon assimilation and seed filling in chickpea. *Functional plant biology*, 41, 1148-1167.
- Badiane, F. A., Diouf, D., Sané, D., Diouf, O., Goudiaby, V., & Diallo, N. (2004). Screening cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] varieties by inducing water deficit and RAPD analyses. *African Journal of Biotechnology*, 3(3), 174-178.
- Bai, Y., and Lindhout, P. (2007). Domestication and breeding of tomatoes: What have we gained and what can we gain in the future? *Annals of Botany*, 100, 1085–1094.
- Bartels, D., and Sunkar, R. (2005). Drought and salt tolerance in plants. *Reviews in Plant Science*, 24, 23–58.
- Bayoumi, T. Y., Eid, M. H., and Metwali, E. M. (2008). Application of physiological and biochemical indices as a screening technique for drought tolerance in wheat genotypes. *African Journal of Biotechnology*, 7(14).
- Beckert, O. P., Miguel, M.H. and Filho, J. M. (2000). Absorção de água e potencial

- fisiológico em sementes de soja de diferentes tamanhos. *Scientia agrícola*, 57(4), 671– 675.
- Bernier, J., Atlin, G. N., Serraj, R., Kumar, A., Spaner, D. (2008). Breeding upland rice for drought resistance. *Journal of the Science of Food and agriculture*, 88(6), 927-939.
- Bewley, J. D., Bradford, K., & Hilhorst, H. (2013). *Seeds: physiology of development, germination and dormancy*. Springer Science & Business Media.
- Bhargava S. and Sawant K. (2013). Drought stress adaptation: metabolic adjustment and regulation of gene expression. *Plant Breeding*, 132, 21- 32.
- Bibi A., Sadaqat, H.A., Akram, H. M. and Mohammed, M. I. (2010). Physiological markers for screening sorghum (*Sorghum bicolor*), germplasm under water stress condition. *International Journal of Agriculture and Biology*, 12: 451- 455.
- Bliss, R. D., Platt-Aloia, K. A., and Thomson, W. W. (1986). Osmotic sensitivity in relation to salt sensitivity in germinating barley seeds. *Plant Cell Environment*, 9, 721–725.
- Blum A. (1988). *Plant Breeding for Stress Environment*. CRC Press, Boca Raton
- Bolger, A., Scossa, F., Bolger, M. E., Lanz, C., Maumus, F., Tohge, T., Fich, E. A. (2014). The genome of the stress-tolerant wild tomato species *Solanum pennellii*. *Nature genetics*, 46(9), 1034-1038.
- Borba, M. E. A., Maciel, G., Marquez, M. G. R., Júnior, E. F. F. and Nogueira G. G. S. (2017). Genetic diversity and selection in tomato genotypes under water stress induced by mannitol. *Bioscience Journal*, 33(3), 592-600.
- Bousslama, M., and Schapaugh W. T. (1984). Stress tolerance in soybean. Part 1. Evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. *Crop Science*, 24, 933-937.
- Bradford, K. J. (1986). Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *HortScience*, 21, 1105-1112.
- Bradford, K. J. (1995). *Water relations in seed germination*. In: Kigel, J. and Galili, G. (eds), *Seed Development and Germination* (pp. 351–396). Marcel Dekker, Inc., New York.
- BRASIL. Ministério da agricultura. Regras para análise de sementes. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária, 2009. 395p.
- Brdar-Jokanović, M., and Zdravković, J. (2015). Germination of tomatoes under PEG-induced drought stress. *Ratarstvo i povrtarstvo*, 52(3), 108-113.
- Bray, E. A. (2004). Genes commonly regulated by water-deficit stress in *Arabidopsis thaliana*. *Journal of Experimental Botany*, 55(407), 2331-2341.
- Celebi, M. (2014). The effect of water stress on tomato under different emitter discharges and semi-arid climate condition. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 20(5), 1151-1157.
- Chartzoulakis, K., and G. Klapaki. (2000). Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Scientia Horticulturae*. 86, 247-260.
- Chaubey, C. N., and Senadhira, D. (1994). *Conventional plant breeding for tolerance to problem soils*. In: Yeo, A. R. and Flowers, T. J. (eds), *Soil Mineral Stresses Approaches to Crop Improvement* (pp. 11–36). Springer-Verlag, Berlin.
- Chaves, M. M., Maroco, J. P., and Pereira, J. S. (2003). Understanding plant responses to drought - from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30(3), 239-264.

- Chen, J., Kang, S., Du, T., Guo, P., Qiu, R., Chen, R., and Gu, F. (2014). Modeling relations of tomato yield and fruit quality with water deficit at different growth stages under greenhouse condition. *Agricultural water management*, 146, 131-148.
- Choi, J. Y., Seo, Y. S., Kim, S. J., Kim, W. T., and Shin, J. S. (2011). Constitutive expression of CaXTH3, a hot pepper xyloglucanndotransglucosylase/hydrolase, enhanced tolerance to salt and drought stresses without phenotypic defects in tomato plants (*Solanum lycopersicum* cv. Dotaerang). *Plant cell reports*, 30(5), 867-877.
- Coelho, D. L. M., Agostini, E. A. T. de., Guaberto, L. M., Machado Neto, N. B., Custódio, C. C. (2010). Estresse hídrico com diferentes osmóticos em sementes de feijão e expressão diferencial de proteínas durante a germinação. *Acta Scientiarum*, 32(3), 491-499.
- Condon, A. G., Richards, R. A., Rebetzke, G. J., and Farquhar, G. D. (2004). Breeding for high water-use efficiency. *Journal of experimental botany*, 55(407), 2447-2460.
- Copeland, L.O., McDonald, M.B. (1985). *Principles of seed science and technology*. 2.ed. New York: Macmillan, 321p.
- Costa, P. R., Custódio, C. C., Machado Neto, N. B., and Marubayashi, O. M. (2004). Estresse hídrico induzido por manitol em sementes de soja de diferentes tamanhos. *Revista Brasileira de Sementes*, 26(1), 105-113.
- Dahal, P., Bradford, K. J. and Jones, R. A. (1990). Effects of priming and endosperm integrity on seed tomato genotypes: I. Germination at suboptimal temperature. *Journal of Experimental Botany*, 41,1431–1440.
- Dhanda, S. S., Sethi, G. S., and Behl, R. K. (2004). Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth. *Journal of agronomy and crop science*, 190(1), 6-12.
- Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carré, G., ... and Münkemüller, T. (2013). Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. *Ecography*, 36(1), 27-46.
- Esau, K. (1953). *Plant Anatomy*. Wiley, New York, 735 pp.
- Echer, F. R., Custódio, C. C., Hossomi, S. T., Dominato, J. C., Machado Neto, N. B. (2010). Estresse hídrico induzido por manitol em cultivares de algodão. *Revista Ciência Agronômica*, 41(4), 638-645.
- Eshed, Y., Abu-Abied, M., Saranga, Y., & Zamir, D. (1992). *Lycopersicon esculentum* lines containing small overlapping introgressions from *L. pennellii*. *TAG Theoretical and Applied Genetics*, 83(8), 1027-1034.
- Eshed, Y., & Zamir, D. (1994). A genomic library of *Lycopersicon pennellii* in *L. esculentum*: a tool for fine mapping of genes. *Euphytica*, 79(3), 175-179.
- Eshed, Y. and Zamir, D. (1995). An introgression line population of *Lycopersicon pennellii* in the cultivated tomato enables the identification and fine mapping of yield-associated QTL. *Genetics*, 141,1147-1162.
- Fang, Y. and Xiong, L. (2015). General mechanisms of drought response and their application in drought resistance improvement in plants. *Cellular and molecular life sciences*, 72(4), 673-689.
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2014). Available at: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> (accessed 14 September 2017).
- Farshadfar, E., Javadinia, J. (2011). Evaluation of chickpea (*Cicer arietinum* L.), genotypes for drought tolerance. *Seed and Plant Improvement Journal* 27, 517-

- Farshadfar, E., Poursiahbidi, M. M. and Safavi, S. M. (2013). Assessment of drought tolerance in land races of bread wheat based on resistance tolerance indices. *Int. J. Adv. Biol. Biomed. Res.*, 1: 143-158.
- Farshadfar, E., J. Sutka. (2002). Screening drought tolerance criteria in maize. *Acta Agron. Hung.* 50, 411-416.
- Fernandez, G. C. J. (1992). *Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance*. In: Adaptation of food crops to temperature and water stress, (Ed.), Kuo, C.G., Shanhua: Asian Vegetable Research and Development Center, Taiwan, Publ.
- Filgueira, F. A. R. (2008). *Solanáceas II – Tomate: a hortaliça cosmopolita*. In: Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, p. 194-241.
- Fischer, R.A. and R. Maurer. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield response. *Aust. J. Agric. Res.*, 29: 897–907.
- Fischer, R.A., J.T. Wood. (1979). Drought resistance in spring wheat cultivars: III. Yield association with morphophysiological traits. *Aust. J. Agric. Res.*, 30, 1001-1020.
- Foolad, M. R., Subbiah, P., Kramer, C., Hargrave, G., and Lin, G. Y. (2003). Genetic relationships among cold, salt and drought tolerance during seed germination in an interspecific cross of tomato. *Euphytica*, 130(2), 199-206.
- Foolad, M. R. (2004). Recent advances in genetics of salt tolerance in tomato. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 76(2), 101-119.
- Foolad, M. R. (2005). *Breeding for abiotic stress tolerances in tomato*. In: Abiotic Stresses: Plant Resistance Through Breeding and Molecular Approaches. Ed. Ashraf, M, and P.J.C. Harris. The Haworth Press, New York. 613- 684.
- Foolad, M. R. (2007). *Advances in molecular breeding toward drought and salt tolerant crops* (pp. 261-283). M. A. Jenks, P. M. Hasegawa, & S. M. Jain (Eds.). New York: Springer.
- George, S., Minhas, N. M., Jatoi, S. A., Siddiqui, S. U., and Ghafoor, A. (2015). Impact of polyethylene glycol on proline and membrane stability index for water stress regime in tomato (*Solanum lycopersicum*). *Pakistan Journal of Botany*, 47(3), 835-844.
- Ghebremariam, K. M., Yan, L., Zhang, Z., and Wang, Q. (2013). Effect of drought stress on physiological growth parameters of tomato inbred lines at germination stage. *European Scientific Journal*, 9(33).
- Giroto, L., Donizeti Alves, J., Deuner, S., Sagebin Albuquerque, A. C., & Tomazoni, A. P. (2012). Tolerância à seca de genótipos de trigo utilizando agentes indutores de estresse no processo de seleção. *Revista Ceres*, 59(2).
- Gong, P., Zhang, J., Li, H., Yang, C., Zhang, C., Zhang, X., ... and Ye, Z. (2010). Transcriptional profiles of drought-responsive genes in modulating transcription signal transduction, and biochemical pathways in tomato. *Journal of experimental botany*, 61(13), 3563-3575.
- Govindaraj, M., Shanmugasundaram, P., Sumathi, P., and Muthiah, A. R. (2010). Simple, rapid and cost effective screening method for drought resistant breeding in pearl millet. *Electronic journal of plant breeding*, 1(4), 590-599.
- Groot, S. P. C. and Karssen, C. M. (1987), Gibberellins regulate seed germination in tomato by endosperm weakening: a study with gibberellin-deficient mutant. *Planta* 171: 525–531.
- Haigh, A. H. and Barlow, E. W. R. (1987). Water relations of tomato seed

- germination. *Aust. J. Plant Physiol.* 14, 485-492.
- Hamayun, M., Khan, S. A., Shinwari, Z. K., Khan, A. L., Ahmad, N., and Lee, I. J. (2010). Effect of polyethylene glycol induced drought stress on physio-hormonal attributes of soybean. *Pak. J. Bot.* 42(2), 977-986.
- Hanson, P. et al., (2012). *Solanaceous vegetable breeding at AVRDC – The World Vegetable Center to Meet the Challenges of Climate Change in the Tropics*, p. 163-172.
- Hassanpanah, D. (2010). Evaluation of potato advanced cultivars against water deficit stress under in vitro and in vivo condition. *Biotechnology*, 9: 164-169.
- Hegarty TW. (1978). The physiology of seed hydration and dehydration, and the relation between water stress and the control of germination: a review. *Plant Cell Environ*, 1, 101-119.
- Holtan, H. E. E., Hake, S. (2003). Quantitative Trait Locus Analysis of Leaf Dissection in Tomato Using *Lycopersicon pennellii* Segmental Introgression Lines. *Genetics*, 165(1), 1541-1550.
- Jajarmi, V. (2009). Effect of water stress on germination indices in seven wheat cultivars. *World Academy of Science Engi. Tech.*, 49, 105-106.
- Jangid, K. K. and Dwivedi, P. (2015). Physiological analysis of tomato genotype under PEG induced drought stress. *Trends in Biosciences*, 8(11), 2768-2771.
- Kaiser, H. F. (1958). The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, 23(3), 187-200.
- Kaufman, M. R. (1969). Effects of water potential on germination of lettuce, sunflower, and citrus seeds. *Canadian Journal of Botany*, 47: 1761-1764.
- Kaydan, D. and Yagmur, M. (2008). Germination, seedling growth and relative water content of shoot in different seed sizes of triticale under osmotic stress of water and NaCl. *African Journal of Biotechnology*, 7(16): 2862-2868.
- Kebede, H. et al., (1997). Leaf anatomy of 2 lycopersicon species with contrasting gasexchange properties. *Crop Science*, 34(1), 108-113.
- Kerepsi, I. and Galiba, G. (2000). Osmotic and salt stress-induced alteration in soluble carbohydrate content in wheat seedlings. *Crop Science*, 40, 482-487.
- Khayatnezhad, M., M. Zaefizadeh and A. Eimani. (2011). Selection of useful index for drought stress tolerance in durum wheat genotypes. *Middle East J. Sci. Res.*, 9, 189-194.
- Kpoghomou, B. K., Sapra, V. T., & Beyl, C. A. (1990). Screening for drought tolerance: soybean germination and its relationship to seedling responses. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 164(3), 153-159.
- Kulkarni, M., Deshpande, U. (2007). In vitro screening of tomato genotypes for drought resistance using polyethylene glycol. *African Journal of Biotechnology*, 6, 691-696.
- Kuşçu, H., Turhan, A., and Demir, A. O. (2014). The response of processing tomato to deficit irrigation at various phenological stages in a sub-humid environment. *Agricultural Water Management*, 133, 92-103.
- Lan, J. (1998). Comparison of evaluating methods for agronomic drought resistance in crops. *Acta Agriculturae Borealioccidentalia Sinica*, 7, 85-87.
- Leila, R. (2007). Response of Tunisian autochthonous pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.), to drought stress induced by polyethylene glycol (PEG), 6000. *African Journal of Biotechnology*, 6, 1102-1105.
- Levitt J. (1980). *Responses of Plants to Environmental Stresses: Water, Salt and Other Stresses*, Second edn. Academic Press, New York
- Lin, C. S., Binns, M. R. (1988). A superiority measure of cultivar performance for

- cultivar x location data. *Canadian Journal of Plant Science*, 68, 193-198.
- Lipiec, J., Doussan, C., Nosalewicz, A., Kondracka, K. (2013). Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review. *International Agrophysics*, 27(4), 463-477.
- Lippman, Z. B., Semel, Y., Zamir, D. (2007). An integrated view of quantitative trait variation using tomato interspecific introgression lines. *Current opinion in genetics and development*, 17(6), 545-552.
- Liptay, A. and Schopfer, P. (1983). Effect of water stress, seed coat restraint, and abscisic acid upon different germination capabilities of two tomato lines at low temperature. *Plant Physiology*, 73, 935-938.
- Lu, Y., Hao, Z., Xie, C., Crossa, J., Araus, J. L., Gao, S., ... and Taba, S. (2011). Large-scale screening for maize drought resistance using multiple selection criteria evaluated under water-stressed and well-watered environments. *Field Crops Research*, 124(1), 37-45.
- Madeira, N. R., Reifschneider, F. J., and Giordano, L. D. B. (2008). Contribuição portuguesa à produção e ao consumo de hortaliças no Brasil: uma revisão histórica. *Horticultura Brasileira*, 26, 428-432.
- Maguire, J. D. (1962). Speed of germination aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, 2(2), 176-177.
- Manavalan, L. P., Guttikonda, S. K., Phan Tran, L. S., and Nguyen, H. T. (2009). Physiological and molecular approaches to improve drought resistance in soybean. *Plant and Cell Physiology*, 50(7), 1260-1276.
- Martin B, Nienhuis J, King G (1989) Restriction fragment length polymorphisms associated with water use efficiency in tomato. *Science* 243:1725–1728
- Mehra, V., J. Tripathi, and A.A. Powell. (2003). Aerated hydration treatment improves the response of *Brassica juncea* and *Brassica campestris* seeds to stress during germination. *Seed Science and Technology*, 31, 57-70.
- Meo, A. A. (2000). Impact of variable drought stress and nitrogen levels on plant height, root length and grain numbers per plant in a sunflower variety “Shmas”. *Pakistan Journal of Agricultural Science*, 37, 89-92.
- Mingo, D. M., Theobald, J. C., Bacon, M. A., Davies, W. J., Dodd, I. C. (2004). Biomass allocation in tomato (*Lycopersicon esculentum*), plants grown under partial rootzone drying: enhancement of root growth. *Functional Plant Biology*, 31, 971-978.
- Moosavi, S. S., Yazdi Samadi, B., Naghavi, M. R., Zali, A. A., Dashti, H., Pourshahbazi, A. (2008). Introduction of new indices to identify relative drought tolerance and resistance in wheat genotypes. *Desert*, 12, 165-178.
- Moraes, G. A. F. de, Menezes, N. L. de and Pasqualli, L. L. (2005). Desempenho de sementes de feijão sob diferentes potenciais osmóticos. *Ciência Rural*, 35(4), 776-780.
- Nobrega, L. H. P., & Rodrigues, T. J. P. (1995). Efeitos do estresse hídrico sobre a absorção de água durante a germinação de sementes e o estabelecimento de plântulas de soja. *Informativo Abrates*, 5(1), 51-58.
- Okçu, G., Kaya, M. D. and Atak, M. (2005). Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). *Turkey Journal of Agriculture and Forestry*, 29: 237-242.
- Pelegriani, L. L., Borcion, E., Nogueira, A. C., Koehler, H. S., Quoirin, M. G. G. (2013). Efeito do estresse hídrico simulado com NaCl, manitol e PEG (6000), na germinação de sementes de *Erythrina falcata* Benth. *Ciência Florestal*, 23(2), 511-519.

- Pereira, W. A., Pereira, S. M. A. and Dias, D. C. F. D. S. (2013). Influence of seed size and water restriction on germination of soybean seeds and on early development of seedlings. *Journal of Seed Science*, 35(3), 316-322.
- Pillay I, Beyl C (1990) Early responses of drought-resistant and -susceptible tomato plants subjected to water stress. *J Plant Growth Regul* 9:213–219.
- Prokic, L. J., Stikic, R. (2012). Effects of different drought treatments on root and shoot development of the tomato wildtype and flacca mutant. *Archives in Biology Science*, 63(4), 1167-1171.
- Prunier, J. G., Colyn, M., Legendre, X., Nimon, K. F., Flamand, M. C. (2015). Multicollinearity in spatial genetics: separating the wheat from the chaff using commonality analyses. *Molecular Ecology*, 24, 263-283.
- Rak, C., Hae, J., & Eun, H. (1988). Varietal responses of soybean germination and seedling elongation to temperature and polyethylene glycol solution. *Korean Journal of Crop Science*, 33(1), 31-
- Rajendran, R. A., A. R. Muthiah, A. Manickam, P. Shanmugasundaram and A. John Joel. (2011). Indices of drought tolerance in sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench), genotypes at early stages of plant growth. *Research Journal of Agricultural and Biological Science*, 7, 42-46.
- Resende, M.D.V. de. (2002). Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes. Embrapa Informação Tecnológica, Brasília. 975 p.
- Ribaut, J. M., Pilet, P. E. (1991). Effect of water stress on growth osmotic potential and abscisic acid content of maize roots. *Physiologia Plantarum*, 81,156-162.
- Richards MA, Phills BR (1979) Evaluation of Lycopersicon species for drought tolerance (Abstr.). *HortScience* 14:121
- Richards, R. A. (1996). Defining selection criteria to improve yield under drought. *Plant Growth Regulation*, 20: 157-166.
- Rick, C. M. (1973). Potential genetic resources in tomato species: clues from observations in native habitats. *Genes, enzymes and populations*, 255-269.
- Rick CM (1982) The potential of exotic germplasm for tomato improvement. In: Vasil IK, Scowcroft WR, Frey KJ (eds) *Plant Improvement and Somatic Cell Genetics*. Academic Press, New York, pp 1–28.
- Rocha, D. K., Maciel, G. M., Fraga Junior, E. F., Machado Júnior, C. S., Nogueira, G. G. S., Almeida R. S. (2016). Seleção de genótipos de tomateiro submetidos ao estresse hídrico em função da expressão de características fisiológicas. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 11(2), 80-84.
- Rocha, J. R. D. A. S., Machado, J. C., and Carneiro, P. C. S. (2017). Multitrait index based on factor analysis and ideotype-design: proposal and application on elephant grass breeding for bioenergy. *GCB Bioenergy*, 10(1), 52-60.
- Rosielle, A. A., and Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, 21, 943-946.
- Sa, M. D. (1987). Relações entre qualidade fisiológica, disponibilidade hídrica e desempenho de sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). *Relações entre qualidade fisiológica, disponibilidade hídrica e desempenho de sementes de soja (Glycine max (L.) Merrill)*.
- Saab, I. N., Sharp, Q. E., Pritchard, J., Voetberg, G. S. (1990). Increased endogenous abscisic acid maintains primary root growth and inhibits shoot growth of maize seedlings of low water potentials. *Plant Physiology*, 93, 1329-1336.
- Saensee, K., Machikowa, T. and Muangsan, N. (2012). Comparative performance of sunflower synthetic varieties under drought stress. *International Journal of*

- Agriculture and Biology*, 14: 929-934.
- Santos, L. M. dos., Calil, A. C., Ruiz, A., Santos, M. (1992). Efeito do estresse salino e hídrico na germinação e vigor de sementes de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, 14(2), 189-194.
- Serraj, R., Hash, C. T., Rizvi, S. M. H., Sharma, A., Yadav, R. S., and Bidinger, F. R. (2005). Recent advances in marker-assisted selection for drought tolerance in pearl millet. *Plant production science*, 8(3), 334-337.
- Shamim, F., Farooq, K., and Waheed, A. (2014). Effect of different water regimes on biometric traits of some tolerant and sensitive tomato genotypes. *Journal of Animal and Plant Science*, 24(4), 1178-1182
- Sharp, R. E., Davies, W. J. (1989). Solute regulation and growth by roots and shoots of water stressed maize plants. *Planta*, 47, 43-49.
- Sharp, R. E., Wu, Y., Voetberg, G. S., Saab, I. N., Lenoble, M. E. (1994). Confirmation that abscisic acid accumulation is required for maize primary root elongation at low water potentials. *Journal of Experimental Botany*, 45, 1743-1751.
- Sharp, R. E. (2002). Interaction with ethylene: changing views on the role of ABA in root and shoot growth responses to water stress. *Plant, Cell and Environment*, 25, 211-222.
- Sharp, R. E., Poroyko, V., Hejlek, L. G., Spollen, W. G., Springer, G. K., Bohnert, H. J., Nguyen, H.T. (2004). Root growth maintenance during water deficits: physiology to functional genomics. *Journal of Experimental Botany*, 55: 2343-235.
- Shahverdikandi, M. A., Tobeh, A., Godehkahriz, S. J., and Rastegar, Z. (2011). The study of germination index of canola cultivars for drought resistance. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, 2, 89-95.
- Siddique, M. R. B., Hamid, A., Islam, M. S. (2001). Drought stress effects on water relations of wheat. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 41, 35-39.
- Smith, H. F. (1936). A discriminant function for plant selection. *Annals of Eugenics*, 7, 240-250.
- Soares, M. M., Santos Junior, H. C. Dos., Simões, M. G., Pazzin, D., Silva, L. J. da. (2015). Estresse hídrico e salino em sementes de soja classificadas em diferentes tamanhos. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 45(4), 370-378.
- Spollen, W. G., LeNoble, M. E., Samuels, T. D., Bernstein, N., & Sharp, R. E. (2000). Absciscic acid accumulation maintains maize primary root elongation at low water potentials by restricting ethylene production. *Plant Physiology*, 122(3), 967-976.
- Sultan, M., Rabbani, M. A., Shinwari, Z. K., & Masood, M. S. (2012). Phenotypic divergence in guar (*Cyamopsis tetragonoloba*), landrace genotypes of Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 44, 203-210.
- Telles, D. D., Costa, R. P. (2010). *Reúso da água: Conceitos, teorias e práticas*. 2. ed. São Paulo: 408 p.
- Texeira, L. R., de Lucca e Braccini, A., Sperandio, D., Scapim, C. A., Schuster, I., and Viganó, J. (2008). Avaliação de cultivares de soja quanto à tolerância ao estresse hídrico em substrato contendo polietileno glicol. *Acta Scientiarum Agronomy*, 30(2).
- Thomson, G. H. (1938). Methods of estimating mental factors. *Nature*, 141(3562), 246.
- Torrecillas, A., Alarcón, J. J., Domingo, R., Planes, J., & Sánchez-Blanco, M. J. (1996). Strategies for drought resistance in leaves of two almond cultivars. *Plant*

- Science*, 118(2), 135-143.
- Turk, M. A., Rahmsn, A., Tawaha, M., Lee, K. D. (2004). Seed germination and seedling growth of three lentil cultivars under moisture stress. *Asian Journal of Plant Science*, 3, 394-397.
- Ungar IA. (1978). Halophyte seed germination. *The Botany Review*, 44: 233-264.
- Vahdati, K., Lotfi, N., Kholdebarin, B., Hassani, D., Amiri, R., Mozaffari, M. R., and Leslie, C. (2009). Screening for drought-tolerant genotypes of Persian walnuts (*Juglans regia* L.), during seed germination. *HortScience*, 44(7), 1815-1819.
- Van den Berg, L. and Zeng, Y. J. (2006). Response of South African indigenous grass species to drought stress induced by polyethylene glycol (PEG), 6000. *African Journal of Botany*, 72, 284-286.
- Villela, F. A., Doni Filho, L., Sequeira, E. L. (1991). Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietileno glicol 6.000 e da temperatura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 26, 1957-1968.
- Waseem, M., Athar, H.R. and Ashraf, M. (2006). Effect of salicylic acid applied through rooting medium on drought tolerance of wheat. *Pakistan Journal of Botany*, 38: 1127-1136.
- Wahb-Allah, M. A., Alsadon, A. A., & Ibrahim, A. A. (2011). Drought tolerance of several tomato genotypes under greenhouse conditions. *World Applied Sciences Journal*, 15(7), 933-940.
- Whalley, W.R., Bengough, A.G. and Dexter, A.R. (1998). Water stress induced by PEG decreases the maximum growth pressure of the roots of pea seedlings. *Journal of Experimental Botany*, 49, 1689-1694.
- Younis, M. E., El-Shahaby, O. A., Abo-Hamed, S. A. and Ibrahim, A. H. (2000). Effects of water stress on growth, pigments and assimilation in three sorghum cultivars. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 185, 73-82.
- Yu, A. T. T. (1972) The genetics and physiology of water usage in *Solanum pennellii* Corr. and its hybrids with *Lycopersicon esculentum* Mill. PhD thesis. University of California, Davis
- Zamir, D. (2001). Improving plant breeding with exotic genetic libraries. *Nature reviews genetics*, 2(12), 983.
- Zdravković, J., Jovanović, Z., Đorđević, M., Girek, Z., Zdravković, M., and Stikić, R. (2013). Application of stress susceptibility index for drought tolerance screening of tomato populations. *Genetika*, 45(3), 679-689.
- Ziaf, K., Loukehaich, R., Gong, P., Liu, H., Han, Q., Wang, T., Li, H., and Ye, Z. (2011). A multiple stress-responsive gene ERD15 from *Solanum pennellii* confers stress tolerance in tobacco. *Plant and Cell Physiology*, 52(6), 1055-1067.