

**DAVI SOARES DE FREITAS**

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE TRIGO VISANDO TOLERÂNCIA AO ESTRESSE  
HÍDRICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: Maicon Nardino

Coorientador: Derly José Henriques da Silva

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

F866s  
2022 Freitas, Davi Soares de, 1991-  
Seleção de genótipos de trigo visando tolerância ao estresse  
hídrico / Davi Soares de Freitas. – Viçosa, MG, 2022.  
1 dissertação eletrônica (43 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Maicon Nardino.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Agronomia, 2022.

Referências bibliográficas: f. 39-43.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.759>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Trigo - Melhoramento genético. 2. Trigo - Resistência à  
seca. I. Nardino, Maicon, 1988-. II. Universidade Federal de  
Viçosa. Departamento de Agronomia. Programa de  
Pós-Graduação em Genética e Melhoramento. III. Título.

CDD 22. ed. 631.52

**DAVI SOARES DE FREITAS**

**SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE TRIGO VISANDO TOLERÂNCIA AO ESTRESSE  
HÍDRICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 12 de agosto de 2022.

Assentimento:



Documento assinado digitalmente  
DAVI SOARES DE FREITAS  
Data: 20/12/2022 10:28:35-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

**Davi Soares De Freitas**  
Autor



Documento assinado digitalmente  
MAICON NARDINO  
Data: 20/12/2022 10:44:06-0300  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

**Maicon Nardino**  
Orientador

Dedico a:

Deus, que por sua Graça e ação redentora em Cristo Jesus me promete vida eterna em glória se a Ele for fiel até o fim.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, acima de tudo, a Deus que através da sua Graça tem me sustentado durante o meu peregrinar nesta Terra, provendo tudo o que necessito e cumprindo os seus desígnios em minha vida. Toda honra e glória sejam dadas a Ele, o Criador supremo.

Aos meus pais, Genésio Soares de Oliveira e Maria da Conceição Freitas, por sempre acreditarem em mim e se sacrificarem para o meu desenvolvimento e crescimento.

À minha amada esposa, Mirele, que tem sido a minha ajudadora e com sabedoria me impulsiona em busca dos nossos objetivos, principalmente nos momentos mais difíceis e desafiadores.

Aos meus irmãos Ciro, Joel e Sara pelo companheirismo, cumplicidade, carinho e amizade.

Aos meus amigos que me acompanham, se alegrando com as minhas vitórias e me apoiando nas dificuldades.

Aos colegas do Programa Trigo-UFV que no decorrer do mestrado muito me ensinaram sobre trabalho em equipe e superação.

Ao meu orientador, Maicon Nardino, pela efetiva orientação durante todo o mestrado, sempre com paciência e sabedoria me liderou nesta jornada pelo exemplo, sempre com entusiasmo e profissionalismo vem se doando ao máximo em prol do desenvolvimento da triticultura nacional.

Ao meu co-orientador, Derly José Henrique da Silva, que desde os tempos de graduação acreditou em mim e me ajudou na minha trajetória na UFV.

Ao professor Fernando França que muito contribuiu nas análises dos dados climáticos.

A todos os funcionários e servidores que contribuíram com as atividades do Programa Trigo-UFV.

Aos membros da banca pelas contribuições dadas objetivando a melhoria deste trabalho.

À Universidade Federal de Viçosa, ao Centro de Ciências Agrárias, ao Departamento de Agronomia e ao Programa de Pós-Graduação em Genética e

Melhoramento pela excelência, estrutura e qualidade em ensino que oferecem aos estudantes.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão da bolsa de estudos e financiamento da pesquisa, indispensável à concretização desse trabalho.

A todos amigos e irmãos em Cristo que oraram incessantemente, rogando a Deus a sua intervenção ao meu favor durante esse ciclo acadêmico.

A todos que direta ou indiretamente, em algum momento da minha vida, contribuíram para essa conquista.

“O Deus da Bíblia é também o Deus do genoma. Ele pode ser adorado na catedral ou no laboratório. Sua criação é majestosa, impressionante, complexa, bonita e não pode estar em guerra consigo mesma”.

(Francis Collins, Chefe do Projeto Genoma Humano)

## RESUMO

FREITAS, Davi Soares de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2022. **Seleção de genótipos de trigo visando tolerância ao estresse hídrico.** Orientador: Maicon Nardino. Coorientador: Derly José Henriques da Silva.

O trigo (*Triticum aestivum* L.) desempenha um importante papel nos aspectos econômicos e sociais. É o segundo cereal mais produzido no mundo e uma das maiores fontes de carboidratos usadas na dieta humana. Apesar de ser um dos maiores produtores de alimentos do mundo, o Brasil não é autossuficiente na produção de trigo, o que demanda a importação de aproximadamente 40-50% do total consumido. Nas últimas safras vem aumentando o processo de expansão da cultura do trigo para áreas tropicais, o que em parte abrange o cerrado brasileiro. Este bioma tem extensas áreas agricultáveis, no entanto, as elevadas temperaturas e o estresse hídrico provenientes de veranicos são os principais obstáculos para a consolidação da triticultura, principalmente para a produção de trigo sequeiro. Dentre os estresses abióticos, o déficit hídrico é um dos mais complexos e que proporciona grandes prejuízos sobre a produtividade de grãos. Por essa razão, há a necessidade do desenvolvimento, seleção e recomendação de genótipos de trigo que possuam tolerância à seca. Na literatura são observados índices de tolerância à seca, os quais servem como ferramentas para o pesquisador, que se baseiam em uma relação matemática entre as produtividades em ambiente com e sem estresse hídrico. O principal objetivo deste trabalho foi fenotipar para as características agronômicas visando a seleção de genótipos de trigo a partir de índices de tolerância à seca. Para este propósito, 31 linhagens e cinco cultivares foram avaliadas a campo no delineamento de blocos casualizados em ambiente irrigado e sequeiro. Os experimentos foram conduzidos entre os meses de maio e outubro de 2020. Foi realizado o monitoramento da umidade do solo para a construção do balanço hídrico. As características agronômicas avaliadas foram: rendimento de grãos ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), massa de espiga (g), peso hectolítrico, número de espiguetas por espiga, número de grãos por espiga, massa de grãos por espiga (g), massa de cem grãos e fertilidade (G). Os índices de tolerância à seca utilizados foram: índice de suscetibilidade ao estresse (SSI), produtividade média geométrica (GMP), produtividade média (MP), média harmônica (HM), tolerância (TOL), índice de tolerância ao estresse (STI) e índice de



estabilidade de rendimento (YSI). Os dados foram submetidos às análises de variância individual e conjunta. As médias dos genótipos para as características foram agrupadas pelo teste de Scott e Knott. Os genótipos foram ranqueados do 1° ao 36° para os oito índices de forma individual e conjunta. As análises de variância indicaram haver genótipos de trigo tolerantes ao estresse hídrico. Os resultados evidenciaram que dentre os sete índices de tolerância ao estresse, MP, HM, GMP e STI foram suficientes para distinguir os genótipos tolerantes dos genótipos sensíveis. Isso demonstra que são índices ótimos para serem empregados em novas pesquisas de tolerância à seca em trigo. As linhagens VI 14001, VI 14118, VI 9004, VI 14214, VI 131313, VI 14197 e a cultivar comercial BRS 264 foram considerados mais tolerantes ao déficit hídrico, dessa forma podem ser consideradas como fontes de alelos para cruzamentos e/ou para novas pesquisas envolvendo estresse por seca.

**Palavras-chave:** *Triticum aestivum* L. Trigo tropical. Índices de tolerância.

## ABSTRACT

FREITAS, Davi Soares de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August 2022. **Selection of wheat genotypes aiming at the tolerance to water stress.** Adviser: Maicon Nardino. Co-adviser: Derly José Henriques da Silva.

Wheat (*Triticum aestivum* L.) has an important role regarding economic and social aspects. It is the second most produced cereal in the world and it is one of the main sources of carbohydrates utilized on human diet. Although Brazil is one of the main food producers worldwide, the country is not self-sufficient in wheat production, what leads to an import demand around 40% to 50%. In the last harvests, wheat is expanding to areas of tropical environments, encompassing the Brazilian Cerrado. This biome has huge arable areas; however, the high temperatures and constant drought stress issues are one of the main challenges for the consolidation of wheat production in these areas, mainly for the production on non-irrigated systems. Among the abiotic stresses, water deficit is one of the most complex and provides huge losses over grain yield. For that reason, there is the need to the development, selection and recommendation of wheat genotypes with tolerance to drought. On the literature, it is observed the existence of drought tolerance indices, which are useful as tools for the researcher and are based on mathematical relations among grain yield on stressed and non-stressed environments. The main goal of this work was to phenotype for agronomic traits aiming the selection of wheat genotypes based on drought tolerance indices. For this purpose, 31 lines and five cultivars were evaluated at the field on randomized block design on irrigated and non-irrigated environments. The experiments were carried out among May and October 2020. The soil humidity was monitored for the construction of the hydric balance. The traits evaluated were: grain yield ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), spike mass (g), hectoliter weight, number of spikelets per spike, number of grains per spike, grain mass per spike (g), hundred grain mass and fertility (G). The drought tolerance indices applied were: susceptibility stress index (SSI), geometric mean productivity (GMP), mean productivity (MP), harmonic mean (HM), tolerance (TOL), stress tolerance index (STI), and yield stability index (YSI). The data were subjected to individual and joint analysis of variance. The means of the genotypes for the traits were grouped for the Scott and Knott test. The genotypes were ranked from

the first to the 36<sup>th</sup> for the eight indices individually and jointly. The analysis of variance indicated that there is the possibility to select wheat genotypes tolerant do drought stress. The results showed that among the seven tolerance indices evaluated, the indices MP, HM, GMP e STI were sufficient to distinguish the tolerant genotypes from the sensible genotypes. This demonstrate that the indices are great for being used in new researches regarding the drought tolerance in wheat. The lines VI 14001, VI 14118, VI 9004, VI 14214, VI 131313, VI 14197 e the commercial cultivar BRS 264, were considered the most tolerant to water deficit, and, this way, they can be considered as sources of alleles for crosses and/or for new research evolving drought stress.

Keywords: *Triticum aestivum* L. Tropical wheat. Tolerance indices.

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVO GERAL	14
2.1 Objetivos específicos	14
3 MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1 Genótipos de trigo	15
3.2 Tratos culturais	17
3.3 Ambientes	17
3.4 Características Avaliadas	19
2.5 Índices de tolerância a seca	20
3.6 Análises estatísticas	20
4 RESULTADOS	22
4.2 Análises de variância	23
4.2.1 Anova individual	23
4.2.2 ANOVA dos índices de tolerância	25
4.2.3 Anova conjunta	25
4.3 Teste de agrupamento de médias	26
4.3.1 Caracteres agronômicos	26
4.3.2 Índices de tolerância	30
5. DISCUSSÃO	34
5.1 Estimativa do estresse	34
5.2 Análises de variância	34
5.3 Agrupamento de médias	37
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

## 1 INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma cultura versátil e é adaptado em diversas condições de clima. Este cereal se destaca na dieta alimentar graças a sua qualidade e quantidade de proteínas e diversidade de produtos derivados, sendo considerado uma das principais culturas alimentares. Além de ampla utilização na alimentação humana, o trigo tem aplicações na alimentação animal e em produtos não alimentícios. Estas características permitem que o trigo contribua para o desenvolvimento e manutenção de diversas atividades industriais, gerando assim emprego e renda (MORI, 2015).

A triticultura constitui um dos maiores mercados de *commodity* de grãos do mundo e, juntamente com arroz e milho, é um dos cereais mais produzidos mundialmente. A produção mundial na safra 2021/22 é estimada em 778,6 milhões de toneladas e, deste montante, o Brasil contribuirá com apenas 7,7 milhões de toneladas, o que representa aproximadamente 0,98% da produção mundial. Já o consumo mundial e brasileiro deste cereal é estimado em 778,2 milhões de toneladas e 12,5 milhões de toneladas, respectivamente (USDA, 2022).

A produção nacional supre apenas 61,6% da demanda interna. Esta insuficiência produtiva aponta para a necessidade de maiores esforços e investimentos em programas de melhoramento genético e em avanços nos sistemas de produção. Na safra 2021/22, estima-se que a área cultivada de trigo no Brasil seja de 2,7 milhões de hectares, sendo que a região sul representa mais de 90% desta área (2,48 milhões de hectares) (CONAB, 2022). Para alcançar a autossuficiência em trigo, deve-se buscar alternativas que possibilitem a expansão das áreas de produção além da região sul do Brasil.

A região central do Brasil se apresenta como alternativa para incremento na área tritícola e já se observa um movimento de expansão para esta região (CORRÊA, 2018; MORI; TÔSTO; HIRAKURI, 2018). Segundo Pasinato *et al.* (2018) esta região está próxima de importantes mercados consumidores, dispõe de imensas áreas agricultáveis e aptas à produção de trigo com alta qualidade tecnológica em função das condições climáticas, além de oferecer oportunidade de incremento da renda aos produtores locais.

Os principais fatores que limitam a triticultura na região central do Brasil são as elevadas temperaturas e o estresse hídrico proveniente de veranicos (CORRÊA, 2018; BATISTA, 2017). Cargnin *et al.* (2006) constataram 47% de redução da produção de grãos, ao passo que De Oliveira *et al.* (2011) verificaram que a média de produção de grãos foi reduzida em 41% quando comparados os ambientes com e sem estresse de calor. Santos *et al.* (2012) observaram até 60% na redução da produção de grãos de cultivares conduzidas em ambiente sob estresse hídrico. Por essa razão há necessidade do desenvolvimento de genótipos de trigo que apresentem maior tolerância aos estresses térmico e hídrico, associados ao elevado rendimento de grãos (MONDAL *et al.*, 2015). Um programa de melhoramento de trigo que vise a obtenção destes genótipos deve compreender os componentes de produção e os mecanismos de compensação da produção de trigo em determinadas condições de estresse.

Características morfológicas como o rendimento dos grãos, o número de afilhos férteis, número de grãos por espiga, peso de mil grãos, comprimento do pedúnculo, altura da planta, comprimento da espiga, número de grãos por espiga e peso de grãos por espiga influenciam na tolerância do trigo à seca; logo o rendimento de grãos e seus componentes são valiosos critérios de seleção de genótipos de trigos para regiões mais quentes (PASSIOURA, 2012; PLAUT, 2004).

A tolerância à seca é uma característica quantitativa, sendo controlada por muitos genes (FLEURY *et al.*, 2010). Este fenômeno envolve escape e tolerância à seca, e isto torna a detecção de genótipos tolerantes muito difícil (TAKEDA e MATSUOKA, 2008). A comparação da produção relativa de genótipos sob condições ótimas e estressantes vem sendo utilizada para a identificação de genótipos tolerantes à seca (FERNANDEZ, 1992; MITRA, 2001).

Vários pesquisadores vêm se dedicando à diferenciação de genótipos tolerantes à seca por meio da utilização de índices de seleção que se baseiam justamente em uma relação matemática entre as produções em condições com e sem estresse hídrico às culturas (SIO-SE MARDEH *et al.*, 2006). Fischer e Maurer (1978) definiram o índice de suscetibilidade ao estresse (SSI), expresso pela seguinte relação:  $SSI = \frac{1 - (GY_s / (GY_c))}{1 - (\bar{GY}_s / \bar{GY}_c)}$ . Quanto menor o valor de SSI, maior é a tolerância ao estresse. A seleção baseada em SSI favorece genótipos que apresentem menor variação de rendimento de grãos em condições com e sem estresse.

Rosielle e Hamblin (1981) estabeleceram que a tolerância ao estresse (TOL) é dada pela diferença de produção de grãos entre ambiente sequeiro ( $RG_s$ ) e ambiente irrigado ( $RG_I$ ), e que a produtividade média (MP) é o rendimento médio de  $RG_s$  e  $RG_I$ . Um valor maior de TOL representa relativamente mais sensibilidade ao estresse, ou seja, menor foi a diferença de produção entre os ambientes com e sem estresse, logo a seleção baseada no TOL favorece genótipos com baixo potencial de rendimento em condições sem estresse e alto rendimento em condições de estresse (FERNANDEZ, 1992).

Fernandez (1992) propôs o índice de tolerância ao estresse (STI). Este índice é estimado com base na GMP de tal modo que quanto maior o valor de STI para um genótipo, maior a tolerância ao estresse e o potencial de rendimento. STI pode ser usado para identificar genótipos que produzem altos rendimentos, tanto em ambientes sem estresse quanto em ambientes com estresse.

Outras estimativas de tolerância à seca baseadas na produtividade são o índice de estabilidade do rendimento (YSI) (BOUSLAMA e SCHAPAUGH, 1984), a média geométrica (GMP) (FERNANDEZ, 1992; KRISTIN *et al.*, 1997) e a média harmônica (HARM) (JAFARI *et al.*, 2009). A média geométrica é frequentemente utilizada por melhoristas interessados em desempenho relativo, uma vez que o estresse hídrico pode variar em severidade em ambientes de campo ao longo dos anos (RAMIREZ e KELLY, 1998). O índice de estabilidade de produtividade (YSI) foi proposto para avaliar a estabilidade de genótipos nas condições de estresse e não estresse.

## **2 OBJETIVO GERAL**

O principal objetivo deste trabalho foi fenotipar para as características agronômicas visando a seleção de genótipos de trigo a partir de índices de tolerância à seca.

### **2.1 Objetivos específicos**

Fenotipar as linhagens do Programa Trigo-UFV e cultivares comerciais para características de importância agronômica na condição controle e estresse hídrico;

Selecionar genótipos de trigo com potencial para ambientes com probabilidade de ocorrência de seca;

Analisar o desempenho dos genótipos de trigo a partir de índices de tolerância a seca e aplicar o ranqueamento com a soma de classificação dos genótipos em todos os índices para a formação do ranqueamento global.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Genótipos de trigo

Os genótipos avaliados consistiram de 31 linhagens de trigo em estágio de valor de cultivo e uso (VCU) desenvolvidos pelo Programa de Melhoramento de Trigo da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e cinco cultivares comerciais desenvolvidas por diferentes companhias na região centro sul do Brasil: BRS 264 (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA), CD 151 (Cooperativa Central de Pesquisa Agrícola – COODETEC), ORS 1403 (OR Sementes), TBIO Aton e TBIO Duque (Biotrigo Genética) (Tabela 1), dispostos em campo em delineamento de blocos ao acaso, com três repetições. A parcela experimental foi constituída por cinco linhas de cinco m espaçadas a 0,20 m, com densidade populacional final de 380 plantas m<sup>2</sup>. Os experimentos, com e sem irrigação, foram conduzidos na área experimental Professor Diogo Alves de Mello (lat 20° 45' 14" S, long 42° 52' 55" W, alt 648 m) pertencente à UFV, Viçosa, Minas Gerais, entre os meses de junho e outubro de 2020. Os dados meteorológicos de temperaturas (mínima, média e máxima) e precipitação foram obtidos a partir dos registros da estação A510 do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) instalada em Viçosa a aproximadamente 800m da área experimental (Figura 1).

Tabela 1. Identificação dos genótipos utilizados no trabalho.

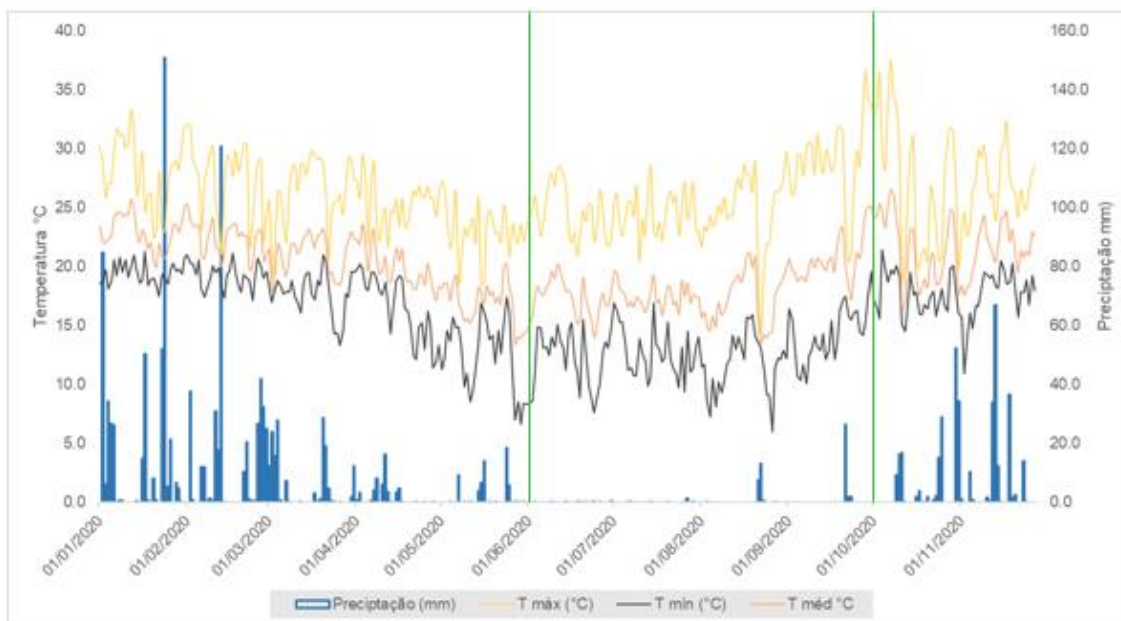
Código no programa	Obtentor	Genótipo
VI 14980	UFV	1
VI 14867	UFV	2
VI 14774	UFV	3
VI 131313	UFV	4
VI 130758	UFV	5
VI 130755	UFV	6



VI 14668	UFV	7
VI 14118	UFV	8
VI 9004	UFV	9
VI 9007	UFV	10
VI 9031	UFV	11
VI 9037	UFV	12
VI 130679	UFV	13
VI 14026	UFV	14
CD 151	Coodetec	15
VI 14001	UFV	16
VI 14088	UFV	17
VI 14214	UFV	18
VI 14426	UFV	19
VI 14708	UFV	20
VI 14055	UFV	21
VI 14127	UFV	22
VI 14194	UFV	23
VI 14197	UFV	24
VI 14204	UFV	25
VI 14208	UFV	26
VI 14327	UFV	27
VI 14022	UFV	28
VI 14050	UFV	29
VI 14950	UFV	30
VI 14881	UFV	31
VI 14239	UFV	32
BRS 264	Embrapa Trigo	33
TBIO ATON	Biotrigo Genética	34
TBIO DUQUE	Biotrigo Genética	35
OR 1403	OR Sementes	36

---

Genótipos numerados de 1 a 36 e seus respectivos códigos. Genótipos com o código iniciado por VI são linhagens em VCU do programa Trigo-UFV. Os genótipos CD 151, BRS 264, TBIO ATON, TBIO DUQUE e OR 1403 são cultivares comerciais de trigo.



**FIGURA 1.** Dados mensais de temperaturas mínima, temperatura média, temperatura máxima e precipitação, entre as linhas verdes está o período do plantio à colheita do trigo.

### 3.2 Tratos culturais

A adubação de base foi realizada de acordo com interpretação da análise química de solo, com o objetivo de atender as necessidades da cultura. Nas linhas de semeadura foram aplicados  $300 \text{ kg ha}^{-1}$  de adubo na formulação 28-08-16 (nitrogênio-fósforo-potássio). Na adubação de cobertura foram aplicados  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, em dois estádios: 50% no início do perfilhamento e 50% no início do emborrachamento, correspondentes aos estágios 21 e 45 da escala de Zadoks, Chang e Konzak (1974). A ureia (com 45% de N) foi utilizada como fonte de nitrogênio, totalizando  $200 \text{ kg ha}^{-1}$ .

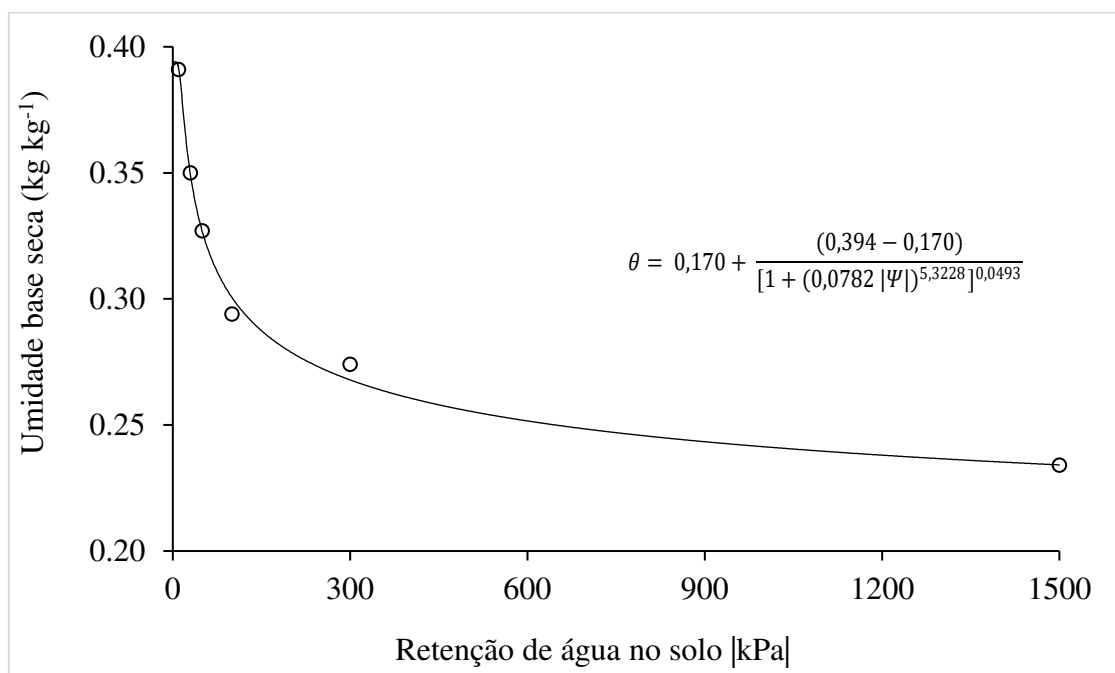
### 3.3 Ambientes

Os 36 genótipos de trigo foram submetidos à condição de irrigação (ambiente irrigado) e sem irrigação (ambiente sequeiro). Para tal, dois experimentos foram conduzidos simultaneamente: um irrigado por aspersão convencional, conforme necessidades hídricas da cultura, e o outro com irrigação interrompida a partir do estágio fenológico de espigamento, estágio 65 (Zadoks, Chang e Konzak, 1974). A irrigação no ambiente sob estresse foi suspensa no período do dia 06 de agosto a 09

de setembro de 2022, contabilizando 35 dias de estresse hídrico, semelhante ao período de maturação fisiológica do trigo.

Inicialmente amostras de solo foram coletadas em profundidade de 0,00 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m para cada ambiente. As amostras homogeneizadas foram enviadas ao laboratório para realização da análise química, obtenção da curva de retenção de água no solo e a densidade do solo.

Para construção da curva de retenção de água no solo, amostras de solo foram submetidas às tensões de 10, 30, 50, 100, 300 e 1.500 kPa por meio do extrator de Richards (RICHARDS, 1949). Os dados de umidade do solo em função das tensões de água no solo foram ajustados ao modelo matemático proposto por Van Genuchten (1980), como mostrado na Figura 2.



**Figura 2.** Curva de retenção de água no solo ajustada pelo modelo de Van Genuchten (1980), na qual y corresponde ao conteúdo de água no solo (eixo Y) expresso em kg/kg e x representa a tensão de água no solo em KPa (eixo X). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2022.

O monitoramento da umidade do solo foi realizado pelo “Método-Padrão de estufa” que se baseia na diferença de peso em uma amostra que se deseja determinar a umidade antes e após a secagem. Coletas de amostras de solo foram realizadas a cada dois dias em 10 pontos de cada área com o auxílio de trado tipo sonda, nas profundidades de 0,00–0,10 e 0,10–0,20 m. Em seguida, as amostras de solo foram pesadas e colocadas em estufa com circulação de ar entre 105 e 110 °C, por 48 horas.

O monitoramento de umidade do solo ocorreu entre 6 de agosto e 9 de setembro de 2020, totalizando 35 dias de observação.

As amostras foram pesadas novamente e foi calculada a porcentagem de umidade em peso do solo pela equação:

$\%UBs=(M1-M2)\div(M2-M3)$ , onde:

M1: peso do solo + peso do recipiente;

M2: peso do solo seco + peso do recipiente;

M3: peso do recipiente de amostragem.

### 3.4 Características Avaliadas

- Rendimento de grãos (RG) ( $\text{kg ha}^{-1}$ ): após a colheita manual da parcela foi realizada a trilha mecânica, para cada genótipo, em cada uma das repetições dos ambientes, ( $GY_1$  e  $GY_s$  respectivamente).
- Massa de espiga (ME) (g): média aritmética da massa de dez espigas tomadas aleatoriamente dentro da parcela.
- Peso hectolítrico (PH): determinado por meio da pesagem de uma amostra do total de grãos colhidos em cada parcela utilizando balança Dalle Molle ® com capacidade para  $\frac{1}{4}$  de litro, seguida pela conversão do peso obtido em g para kg;
- Número de grãos por espiga (NGE): média aritmética do número de grãos de dez espigas, amostradas ao acaso, por ocasião da colheita.
- Número de espiguetas por espiga (NEspE): média aritmética do número de espiguetas de dez espigas selecionadas aleatoriamente.
- Massa de cem grãos (M100) (g): mensuração manual de 100 grãos, seguida pela pesagem em balança eletrônica de precisão.
- Massa de grãos por espigas (MGE) (g): mensuração da massa dos grãos de dez espigas computada a média por espiga em balança eletrônica de precisão.
- Fertilidade (FER): razão entre NGE e NEspE.

## 2.5 Índices de tolerância a seca

Como medida de tolerância à seca foram calculados sete índices com base no rendimento de grãos nas condições controle e estresse, usando as seguintes relações:

1. **Índice de suscetibilidade ao estresse** =  $SSI = \frac{1-(RG_s/RG_l)}{1-(RG_s/RG_l)}$  (Fischer e Maurer, 1978)
2. **Produtividade média geométrica** =  $GMP = \sqrt{(RG_s \times RG_l)}$  (Fernandez, 1982)
3. **Produtividade média** =  $MP = \frac{RG_s + RG_l}{2}$  (Rosiele e Hamblin, 1981)
4. **Média harmônica** =  $HARM = \frac{2 \times (RG_s/RG_l)}{(RG_l + RG_s)}$  (Kristin *et al.*, 1997)
5. **Tolerância** =  $TOL = RG_l - RG_s$  (Rosiele e Hamblin, 1981)
6. **Índice de tolerância ao estresse** =  $STI = \frac{RG_s \times RG_l}{RG_l^2}$  (Fernandez, 1992)
7. **Índice de estabilidade de rendimento** =  $YSI = \frac{RG_s}{RG_l}$  (Bousslama e Scappaugh, 1984).

Nas expressões acima,  $RG_s$  e  $RG_l$  representam as produtividades médias de grãos no estresse e irrigado, respectivamente, para todos os genótipos.

Em cada índice, os genótipos foram classificados de acordo com o nível de tolerância ao estresse hídrico. Por fim foi realizada a soma das classificações dos genótipos para todos os índices para subsidiar na seleção dos genótipos mais tolerantes ao estresse hídrico, de acordo com a equação:

**Soma de classificação** =  $RS = R + SDR$ ; sendo  $SDR = (S_i^2)^{0,5}$  onde, R é a média de classificação e SDR é o desvio padrão de classificação.

## 3.6 Análises estatísticas

Foram realizadas as análises de variância (ANOVA) individuais e conjunta. Os modelos estatísticos usados foram:

- $y_{ij} = \mu + g_i + b_j + e_{ij}$  e
- $y_{ijk} = \mu + b/a_{jk} + g_i + a_k + ga_{ijk} + \bar{e}_{ijk}$

em que:

$y_{ij}$  é a observação do  $i$ -ésimo genótipo, no  $j$ -ésimo bloco;  $y_{ijk}$  é a observação do  $i$ -ésimo genótipo, no  $j$ -ésimo bloco e no  $k$ -ésimo ambiente;  $\mu$  é a média geral (fixo);  $g_i$  é o efeito do  $i$ -ésimo genótipo (fixo);  $b_j$  é o efeito do  $j$ -ésimo bloco (fixo);  $a_k$  é o efeito do  $k$ -ésimo ambiente;  $e_{ij}$  é o erro aleatório associado à observação  $y_{ij}$ ,  $b/a_{jk}$  é o efeito  $j$ -ésimo bloco dentro do  $k$ -ésimo ambiente;  $ga_{ijk}$  é o efeito da interação de  $i$ -ésimo genótipo com o  $k$ -ésimo ambiente; e  $\bar{e}_{ijk}$  é o erro aleatório médio associado à observação  $y_{ijk}$ .

O componente quadrático de variação genotípica ( $\widehat{\phi}_g$ ), o componente quadrático de variação da interação ( $\widehat{\phi}_{ga}$ ), o coeficiente de variação experimental CVe (%), e o coeficiente de determinação genotípico ( $\hat{r}_{gg}^2$ ) foram obtidos através dos seguintes estimadores (RESENDE e ALVES, 2020):

$$\widehat{\phi}_g = \frac{\text{QMG-QMR}}{ar}$$

$$\text{CVe (\%)} = \frac{\sqrt{\text{QMe}}}{\bar{y}} \times 100$$

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

QMG é o quadrado médio de genótipo; QMR é o quadrado médio do resíduo; QMGA é o quadrado médio da interação genótipo  $\times$  ambiente,  $r$  é o número de repetições;  $a$  é o número de ambientes;  $F$  corresponde ao valor de  $F$  calculado na análise de variância, dado pela razão QMG/QMR; e  $\bar{y}$  é a média geral.

Após a realização das ANOVAs, para os efeitos significativos, foi realizado o agrupamento de médias pelo teste de Scott e Knott (1974). Todas as análises foram realizadas no software GENES (Cruz, 2016).

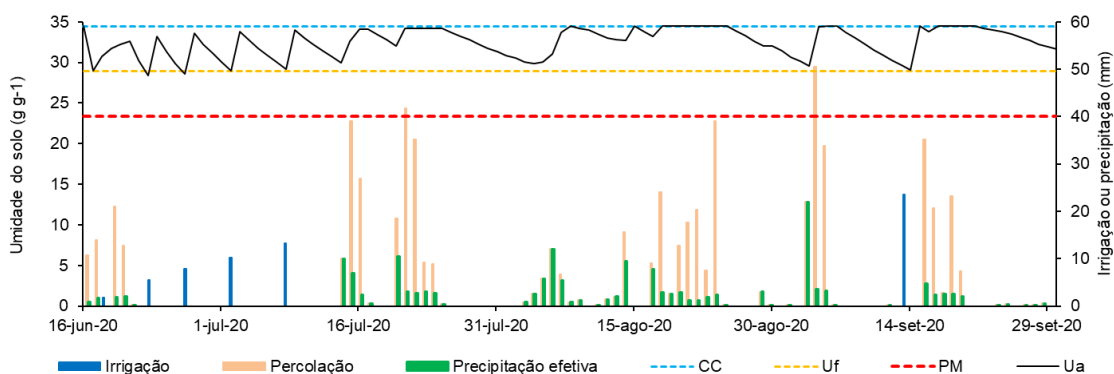
## 4 RESULTADOS

### 4.1 Estimativa do estresse

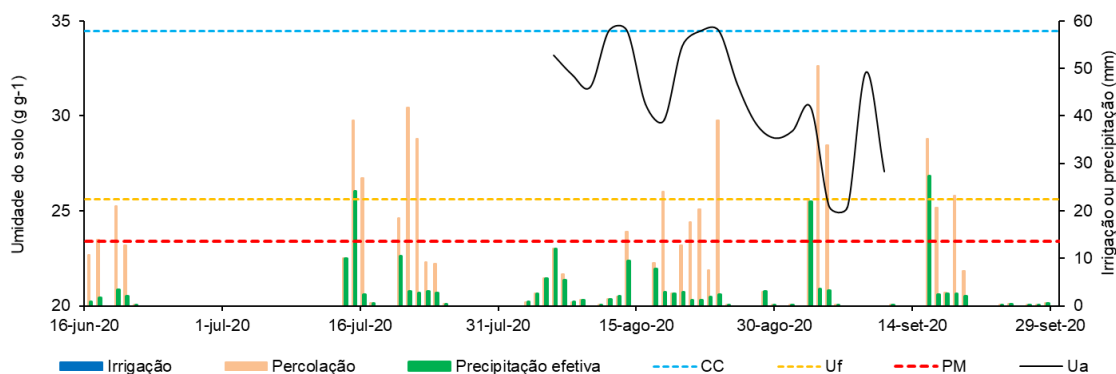
Os dados de análise física do solo para a curva de retenção de água (CRA, kpa) de acordo a Figura 2 foram: -10 kpa = 0,391 kg kg<sup>-1</sup>; -30 kpa = 0,350 kg kg<sup>-1</sup>; -50 kpa = 0,327 kg kg<sup>-1</sup>; -100 kpa = 0,294 kg kg<sup>-1</sup>; -300 kpa = 0,274 kg kg<sup>-1</sup> e -1500 kpa = 0,234 kg kg<sup>-1</sup>.

Com base nos dados climáticos da estação meteorológica, monitoramento de umidade do solo, estádios fenológicos e coeficiente de cultura (Kc) do trigo e a duração do experimento no campo foram confeccionados: balanço hídrico ideal (Figura 4), balanço hídrico do ambiente irrigado (Figura 5) e balanço hídrico do ambiente sequeiro (Figura 6).

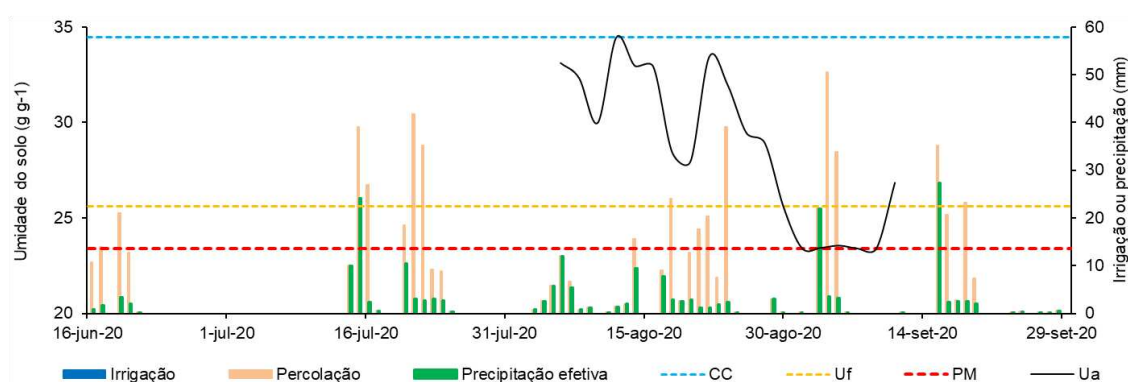
O déficit hídrico acumulado abaixo do limite fator F (fator de disponibilidade de água no solo) para os ambientes sequeiro (Figura 5) e irrigado (Figura 6) foram 43,4 mm e 3,30 mm respectivamente. Os genótipos foram sujeitos ao estresse hídrico durante 12 e 4 dias nos ambientes sequeiro e irrigado, respectivamente.



**FIGURA 4.** Balanço hídrico ideal para ambiente irrigado. CC: capacidade campo; Uf: umidade no fator F; PM: ponto de murcha; Ua: umidade atual



**FIGURA 5.** Balanço hídrico real para ambiente irrigado. CC: capacidade campo; Uf: umidade no fator F; PM: ponto de murcha; Ua: umidade atual



**FIGURA 6.** Balanço hídrico real para ambiente sequeiro. CC: capacidade campo; Uf: umidade no fator F; PM: ponto de murcha; Ua: umidade atual

## 4.2 Análises de variância

As análises de variância (ANOVA) para os ambientes, para os índices de tolerância à seca e a análise conjunta foram apresentadas nas Tabelas 2, 3, 4 e 5.

### 4.2.1 Anova individual

No ambiente submetido ao estresse hídrico (sequeiro) houve efeito significativo para genótipo para as oito variáveis agrônomicas estudadas (RG, PH, M100, ME NEspE, MGE, NGE e Fert.). O coeficiente de determinação genotípico ( $\hat{r}_{gg}^2$ ) neste ambiente variou de 0,70 para ME e MGE a 0,42 para Fert.; já o coeficiente de variação experimental ( $CV_e$ , %) apresentou valores entre 2,79 e 14,56 para PH e RG, respectivamente (Tabela 21).



Tabela 2 – Resumo da análise de variância individual para o ambiente sequeiro, para oito variáveis agronômicas.

FV(GL)	Bloco (2)	Genótipo (35)	Resíduo (70)	CVe (%)	Fc	$\hat{r}_{gg}^2$
RG	427883,87	923893,4	364626,98	14,56	2,53**	0,60
PH	3,03	12,52	4,17	2,79	3,00**	0,66
M100	0,57	0,59	0,18	10,93	3,31**	0,69
ME	0,52	0,37	0,11	10,09	3,39**	0,70
NEspE	5,49	2,49	0,82	5,15	3,03**	0,67
MGE	0,23	0,22	0,07	10,31	3,37**	0,70
NGE	251,01	87,03	47,82	11,62	1,82**	0,45
Fert	0,20	0,22	0,13	10,59	1,73**	0,42

Fc, valor de F calculado da análise de variância para a fonte de variação genótipos ;  $\hat{r}_{gg}^2$ , coeficiente de determinação genotípica; CVe (%), coeficiente de variação experimental; RG, rendimento de grãos (kg/ha); PH, peso hectolítrico; M100, massa de 100 grãos de trigo (g); ME, massa de espiga (g); NEspE, número de espiguetas por espiga; MGE, massa de grãos por espiga (g); NGE, número de grãos por espiga; Fert, fertilidade; \* e \*\*, significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F respectivamente.

No ambiente irrigado (Tabela 3) os genótipos apresentaram efeito significativo para as variáveis RG, M100, ME, NEspE, MGE, NGE e Fert. Neste ambiente  $\hat{r}_{gg}^2$  variou de 0,86 para MGE a 0,08 para PH, ao passo que os valores do CV<sub>e</sub> estiveram entre 5,61 e 11,71 para NEspE e RG, respectivamente.

Tabela 3 – Resumo da análise de variância individual para o ambiente irrigado para oito variáveis agronômicas.

FV(GL)	Bloco (2)	Genótipo (35)	Resíduo (70)	CVe (%)	Fcal	$\hat{r}_{gg}^2$
RG	603653,53	631978,71	182691,96	11,71	3,46**	0,71
PH	79,93	47,8	51,70	9,83	0,92 <sup>NS</sup>	0,08
M100	0,15	0,83	0,12	9,13	6,94**	0,85
ME	0,63	0,37	0,06	8,36	6,55**	0,84
NEspE	8,18	3,85	0,85	5,61	4,53**	0,77
MGE	0,25	0,23	0,03	8,08	7,62**	0,86
NGE	182,82	66,88	16,47	7,67	4,06**	0,75
Fert	0,08	0,07	0,03	5,65	2,05**	0,51

Fc, valor de F calculado da análise de variância para a fonte de variação genótipos ;  $\hat{r}_{gg}^2$ , coeficiente de determinação genotípica; CV<sub>e</sub> (%), coeficiente de variação experimental; RG, rendimento de grãos (kg/ha); PH, peso hectolítrico; M100, massa de 100 grãos de trigo (g); ME, massa de espiga (g); NEspE, número de espiguetas por espiga; MGE, massa de grãos por espiga (g); NGE, número de grãos por espiga; Fert, fertilidade; \* e \*\*, significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F; NS, não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

#### 4.2.2 ANOVA dos índices de tolerância

Na análise de variância dos sete índices de tolerância ao estresse hídrico, foi verificado que houve efeito significativo para genótipo em quatro níveis: GMP, MP, HM e STI além do rendimento de grãos no irrigado ( $Y_p$ ) e no estresse ( $Y_s$ ); os índices SSI, TOL e YSI não apresentaram efeito significativo para genótipo. Na análise do  $\hat{r}_{gg}^2$  os valores variaram de 0,81 (HM) a 0,01 (TOL) demonstrando uma grande amplitude de variação. O  $CV_e$  revelou uma amplitude de variação de 36,9% (TOL) a 9,09% (HM) (Tabela 4).

Tabela 4 - Resumo da análise de variância para sete índices de tolerância ao estresse em 36 genótipos de trigo.

FV (GL)	Bloco (2)	Genótipo (35)	Resíduo (70)	$CV_e$ (%)	Fcal	$\hat{r}_{gg}^2$
SSI	2,57	1,78	1,70	26,8	1,05 <sup>NS</sup>	0,04
GMP	222165,90	667018,55	126408,92	9,14	5,28**	0,81
MP	196257,47	667951,48	130634,08	9,23	5,11**	0,80
HM	255341,34	667528,08	123375,01	9,09	5,41**	0,81
TOL	962023,68	485278,81	494773,67	36,39	0,98 <sup>NS</sup>	0,01
STI	0,04	0,13	0,03	18,57	4,94**	0,80
YSI	0,04	0,03	0,03	18,68	1,05 <sup>NS</sup>	0,01

Fc, valor de F calculado da análise de variância para a fonte de variação genótipos;  $\hat{r}_{gg}^2$ , coeficiente de determinação genotípica;  $CV_e$  (%), coeficiente de variação experimental; SSI, índice de susceptibilidade; GMP, produtividade média geométrica; MP, produtividade média; HM, média harmônica; TOL, tolerância; STI, índice de tolerância ao estresse; YSI, índice de estabilidade de rendimento; \* e \*\*, significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F; ns, não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

#### 4.2.3 Anova conjunta

Pela análise de variância conjunta houve efeito significativo para genótipos para as variáveis RG, M100, ME, NEspE, MGE, NGE e Fert. Para o ambiente houve efeito significativo para RG, ME, NEspE, MGE, NGE e Fert. Para a interação genótipo  $\times$  ambiente (G $\times$ A) houve efeito significativo apenas para NEspE. O  $\hat{r}_{gg}^2$  variou de 0,85 (M100) a 0,03 (PH). O  $CV_e$  apresentou valores entre 13,42 e 5,36 para RG e NEspE, respectivamente (Tabela 5).

Tabela 5. Resumo da análise de variância conjunta para oito características agrônômicas em 36 genótipos de trigo e dois ambientes (sequeiro e irrigado).

FV (GL)	RG	PH	M100	ME	NEspE	MGE	NGE	FERT
BL/AM (4)	515768,70	41,48	0,29	0,58	6,83	0,24	216,91	0,14
Bloco (2)	610696,90	33,95	0,25	0,94	12,3	0,38	397,24	0,24

BL × AM (2)	420840,49	49,02	0,33	0,22	1,36	0,10	36,59	0,04
Gen (35)	1299192,00	30,67	1,23	0,65	4,99	0,39	112,85	0,22
Amb (1)	13279845,00	0,00	0,30	11,11	73,85	6,83	2350,98	1,41
Gen × AM (35)	256680,07	29,65	0,18	0,09	1,34	0,06	41,06	0,07
Resíduo (140)	273659,47	27,94	0,15	0,08	0,83	0,05	32,14	0,08
Média	3899,45	73,18	3,81	3,05	17,02	2,32	56,22	3,29
$\hat{\sigma}_{\text{GG}}^2$	0,80	0,03	0,85	0,85	0,73	0,84	0,63	0,66
CV <sub>e</sub> (%)	13,42	7,22	10,08	9,42	5,36	9,45	10,08	8,60
Fc (G)	5,06**	1,03 <sup>NS</sup>	7,02**	6,94**	3,72**	6,42**	2,75**	2,95**
Fc (A)	25,75**	0,00 <sup>NS</sup>	1,03 <sup>NS</sup>	19,32**	10,80*	28,38**	10,84**	10,12**
Fc (G×A)	0,94 <sup>NS</sup>	1,06 <sup>NS</sup>	1,18 <sup>NS</sup>	1,12 <sup>NS</sup>	1,61*	1,26 <sup>NS</sup>	1,28 <sup>NS</sup>	0,91 <sup>NS</sup>

Fc, valor de F calculado da análise de variância para a fonte de variação genótipos;  $\hat{\sigma}_{\text{GG}}^2$ , coeficiente de determinação genotípica; CV<sub>e</sub> (%), coeficiente de variação experimental; RG, rendimento de grãos (kg/ha); PH, peso hectolítrico; M100, massa de 100 grãos de trigo (g); ME, massa de espiga (g); NEspE, número de espiguetas por espiga; MGE, massa de grãos por espiga (g); NGE, número de grãos por espiga; Fert, fertilidade; \* e \*\*, significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F; NS, não significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

### 4.3 Teste de agrupamento de médias

O comportamento dos genótipos e dos índices de tolerância são apresentados nas Tabelas 6, 7 e 8. A partir dos resultados da ANOVA CONJUNTA, realizou-se o agrupamento de médias utilizando o teste Scott e Knott para as variáveis que apresentaram efeito significativo.

#### 4.3.1 Caracteres agronômicos

O único fator que apresentou interação G×A significativa foi NEspE (Tabela 5) o que conferiu distinção no ranqueamento e agrupamento dos genótipos em função das médias.

Para NEspE foram formados dois grupos, tanto no ambiente controle quanto no ambiente sob estresse (Tabela 6). No ambiente controle, o grupo constituído pelos genótipos 3, 31, 1, 15, 2, 6, 11, 28, 21, 20, 13, 12 e 10 apresentou as maiores médias. No ambiente sob estresse, os genótipos 31, 26, 15, 28, 23, 21, 20, 27, 17, 8, 3, 1, 19, 14, 11, 10 e 2 formaram o grupo com as maiores médias.

Para a comparação de genótipos quanto à rendimento de grãos (Tabela 6), eles foram separados em quatro grupos, sendo que no grupo mais produtivo (acima

de 4293,33 kg ha<sup>-1</sup>) estão os genótipos 33, 16, 18, 4, 21, 9 e 27. O RG médio dos ambientes sequeiro e irrigado foram 3651,5 kg ha<sup>-1</sup> e 4147,4 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. A característica PH (Tabela 6) não apresentou efeito significativo para genótipo e, conseqüentemente, todos os genótipos foram considerados dentro de um mesmo grupo pelo teste Scott e Knott.

Tabela 6. Resultados para análise de agrupamento de médias por Scott e Knott para as variáveis número de espiguetas por espiga (NEspE), rendimento de grãos (RG em kg ha<sup>-1</sup>) e peso hectolétrico (PH) para 36 genótipos.

GEN	NEspE			RG			PH		
	Irrigado	Sequeiro	Média	Irrigado	Sequeiro	Média	Irrigado	Sequeiro	Média
G1	19,00Aa	17,13Ba	18,07	4223,33	4093,33	4158,33b	73,93	73,36	73,64a
G2	18,67Aa	16,60Ba	17,63	3403,33	2809,89	3106,61d	71,97	73,27	72,62a
G3	19,73Aa	17,13Ba	18,43	3940,00	3993,33	3966,67b	73,42	72,14	72,78a
G4	17,53Ab	15,33Bb	16,43	4946,67	4076,67	4511,67a	76,06	52,52	64,29a
G5	17,07Ab	15,67Ab	16,37	3513,33	2795,46	3154,40c	73,37	73,50	73,44a
G6	18,47Aa	16,40Bb	17,43	4145,81	2943,33	3544,57b	71,82	69,91	70,86a
G7	17,20Ab	16,20Ab	16,70	4053,33	3913,33	3983,33b	73,71	73,38	73,55a
G8	17,20Ab	17,13Aa	17,17	4510,00	4070,00	4290,00a	73,00	72,19	72,60a
G9	17,20Ab	15,73Ab	16,47	4760,00	4073,33	4416,67b	74,27	74,71	74,49a
G10	18,00Aa	16,67Aa	17,33	4200,00	3786,67	3993,33c	75,03	74,26	74,64a
G11	18,40Aa	16,73Ba	17,57	4020,00	3586,67	3803,33c	72,91	73,14	73,02a
G12	18,00Aa	16,40Bb	17,20	3613,33	3213,33	3413,33c	66,81	72,71	69,76a
G13	18,20Aa	15,47Bb	16,83	3953,33	3470,00	3711,67c	72,12	72,07	72,09a
G14	16,47Ab	16,93Aa	16,70	3983,33	3377,33	3680,33c	72,48	74,27	73,37a
G15	18,80Aa	17,93Aa	18,37	3476,67	3406,67	3441,67a	71,91	74,68	73,30a
G16	16,67Ab	15,27Ab	15,97	4836,67	4310,00	4573,33b	78,21	75,39	76,80a
G17	17,67Ab	17,13Aa	17,40	4460,00	3366,67	3913,33a	71,75	73,06	72,41a
G18	17,47Ab	16,07Ab	16,77	4950,00	4100,00	4525,00b	75,71	75,31	75,51a
G19	17,00Ab	17,00Aa	17,00	4160,00	3736,67	3948,33d	73,40	72,36	72,88a
G20	18,27Aa	17,33Aa	17,80	3370,00	3323,33	3346,67a	72,22	73,21	72,72a
G21	18,30Aa	17,53Aa	17,92	4950,00	3990,46	4470,23b	71,58	71,10	71,34a
G22	17,60Ab	16,20Ab	16,90	4263,33	4150,46	4206,90c	71,64	75,75	73,70a
G23	17,73Ab	17,60Aa	17,67	4123,33	3096,67	3610,00b	72,60	72,25	72,43a
G24	16,33Ab	15,60Ab	15,97	4346,67	4113,33	4230,00b	74,81	75,26	75,04a
G25	17,40Ab	15,60Bb	16,50	4693,33	3503,33	4098,33b	72,86	77,70	75,28a
G26	16,33Bb	18,00Aa	17,17	4083,33	3760,00	3921,67b	74,33	74,87	74,60a
G27	17,60Ab	17,13Aa	17,37	4906,67	3680,00	4293,33d	76,45	75,39	75,92a
G28	18,33Aa	17,87Aa	18,10	3063,33	3300,00	3181,67b	70,49	71,83	71,16a
G29	17,27Ab	15,80Ab	16,53	4463,33	3886,67	4175,00c	73,75	75,20	74,48a
G30	16,87Ab	15,67Ab	16,27	4246,67	3084,89	3665,78c	72,29	75,94	74,12a
G31	19,20Aa	19,27Aa	19,23	3653,37	3503,33	3578,35c	71,33	72,34	71,84a

G32	17,27Ab	16,40Ab	16,83	3630,61	3856,67	3743,64a	74,34	74,27	74,31a
G33	16,67Ab	15,80Ab	16,23	5233,33	4693,33	4963,33b	76,99	78,46	77,73a
G34	15,27Ab	13,07Bd	14,17	4050,00	4003,33	4026,67c	72,91	75,46	74,19a
G35	17,20Ab	15,33Bb	16,27	4123,33	3500,00	3811,67d	72,17	70,78	71,48a
G36	17,47Ab	14,60Bc	16,03	2956,67	2885,33	2921,00d	71,90	72,39	72,14a
média	17,61 A	16,44 B	17,02	4147,40 A	3651,50 B	3899,45	73,18 A	73,18 A	73,18

Letras maiúsculas comparam os ambientes, letras minúsculas comparam os genótipos

As características M100, ME e MGE foram agrupadas em até quatro grupos (Tabela 7). Para M100 o grupo com as maiores médias foi composto pelos genótipos 2, 25, 4, 3, 22, 8, 32, 27, 23, 17, 33, 14 e 7. O grupo que apresentou as maiores médias para ME foi constituído por 17 genótipos (15, 23, 31, 3, 4, 9, 7, 17, 8, 10, 27, 22, 14, 11, 29, 21, 2). Para a característica MGE, 19 genótipos formaram o grupo com as maiores médias (15, 23, 3, 31, 4, 8, 17, 7, 27, 9, 21, 25, 29, 22, 11, 10, 18, 14 e 26).

Tabela 7. Resultados para análise de agrupamento de médias por Scott e Knott para as variáveis massa de 100 grãos de trigo (M100, em g), massa de espiguetas (ME, em g) e massa de grãos de trigo por espiguetas (MGE, em g) de 36 genótipos.

GEN	M100			ME			MGE		
	Irrigado	Sequeiro	Média	Irrigado	Sequeiro	Média	Irrigado	Sequeiro	Média
G1	3,52	3,37	3,45c	3,25	2,56	2,91b	2,42	1,91	2,16b
G2	4,28	4,99	4,63a	3,44	2,90	3,17a	2,53	2,18	2,35b
G3	4,39	4,16	4,28a	3,79	3,04	3,42a	2,81	2,36	2,58a
G4	4,11	4,46	4,29a	3,80	2,92	3,36a	2,98	2,18	2,58a
G5	3,38	3,06	3,22d	2,78	2,49	2,63c	2,08	1,90	1,99c
G6	2,59	2,76	2,68a	2,61	2,29	2,45a	1,99	1,74	1,87c
G7	4,15	3,94	4,05a	3,67	2,98	3,32a	2,80	2,28	2,54a
G8	4,40	3,98	4,19b	3,45	3,15	3,30a	2,67	2,45	2,56a
G9	3,92	4,05	3,99b	3,69	3,02	3,35a	2,76	2,26	2,51a
G10	3,86	3,52	3,69b	3,21	3,35	3,28a	2,41	2,48	2,45a
G11	4,14	3,62	3,88c	3,60	2,79	3,19b	2,73	2,17	2,45a
G12	3,26	3,43	3,35b	3,05	2,70	2,88b	2,33	1,97	2,15b
G13	3,93	3,96	3,95a	3,43	2,65	3,04a	2,61	1,98	2,29b
G14	4,38	3,75	4,07b	3,18	3,21	3,20a	2,43	2,43	2,43a
G15	3,84	4,07	3,95b	3,86	3,20	3,53b	2,91	2,41	2,66a
G16	4,07	3,95	4,01a	3,30	2,77	3,03a	2,51	2,11	2,31b
G17	4,15	4,07	4,11b	3,41	3,22	3,32b	2,63	2,47	2,55a
G18	3,43	3,78	3,61b	3,42	2,78	3,10b	2,75	2,14	2,44a
G19	3,85	3,34	3,60b	2,99	3,06	3,03b	2,29	2,34	2,32b
G20	3,88	3,68	3,78b	3,22	2,74	2,98a	2,43	2,07	2,25b
G21	3,99	3,59	3,79a	3,44	2,90	3,17a	2,70	2,21	2,46a

G22	4,31	4,20	4,25a	3,46	2,99	3,23a	2,64	2,26	2,45a
G23	4,07	4,16	4,12b	3,73	3,30	3,51b	2,82	2,37	2,60a
G24	3,97	3,96	3,97a	3,06	2,75	2,91b	2,39	2,15	2,27b
G25	4,40	4,34	4,37b	3,33	2,89	3,11b	2,59	2,31	2,45a
G26	3,57	3,77	3,67a	3,09	3,01	3,05a	2,45	2,34	2,39a
G27	4,20	4,07	4,14d	3,41	3,05	3,23b	2,66	2,41	2,54a
G28	3,51	2,44	2,97b	3,42	2,65	3,04a	2,57	1,83	2,20b
G29	3,80	3,93	3,87b	3,37	3,00	3,18b	2,57	2,32	2,45a
G30	3,62	4,21	3,91b	3,03	2,62	2,82a	2,32	2,01	2,17b
G31	4,05	3,82	3,94a	3,64	3,33	3,47b	2,68	2,47	2,58a
G32	4,11	4,17	4,14a	3,31	2,88	3,09b	2,47	2,16	2,31b
G33	4,08	4,06	4,07b	3,01	2,74	2,88c	2,40	2,18	2,29b
G34	3,62	3,79	3,70d	2,42	1,88	2,15c	1,79	1,44	1,61c
G35	3,12	2,87	3,00d	2,77	2,09	2,43c	2,06	1,56	1,81c
G36	2,74	2,69	2,71c	2,61	2,03	2,32c	1,98	1,49	1,74c
média	3,85 A	3,78 A	3,82	3,28 A	2,83 B	3,06	2,50 A	2,15 A	2,33

Letras maiúsculas comparam os ambientes, letras minúsculas comparam os genótipos

As características NGE e FERT (Tabela 8) formaram 3 grupos de genótipos. Para FERT o grupo com as maiores médias foi formado por 31 genótipos (7, 18, 14, 35, 26, 5, 4, 15, 11, 27, 23, 29, 19, 9, 36, 30, 16, 31, 12, 22, 17, 21, 10, 20, 24, 33, 28, 1, 8, 25 e 6). Para NGE, 28 genótipos foram agrupados no grupo com as maiores médias (31, 15, 7, 11, 23, 26, 18, 14, 27, 21, 28, 20, 1, 35, 17, 12, 3, 19, 4, 10, 29, 5, 22, 6, 9, 8, 2 e 30).

Tabela 8. Resultados para análise de agrupamento de médias por Scott e Knott para as número de grãos por espiga (NGE) e fertilidade (FERT) para 36 genótipos.

GEN	NGE			FERT		
	Irrigado	Sequeiro	Média	Irrigado	Sequeiro	Média
G1	62,67	53,40	58,03a	3,30	3,12	3,21a
G2	58,33	50,67	54,50a	3,12	3,05	3,09b
G3	62,47	52,13	57,30a	3,17	3,03	3,10b
G4	64,13	49,47	56,80a	3,65	3,22	3,43a
G5	58,73	53,73	56,23a	3,44	3,43	3,44a
G6	58,93	52,07	55,50a	3,19	3,18	3,19a
G7	66,27	56,40	61,33a	3,86	3,49	3,67a
G8	56,53	53,20	54,87a	3,29	3,10	3,20a
G9	61,80	49,00	55,40a	3,59	3,12	3,35a
G10	58,73	54,60	56,67a	3,26	3,28	3,27a
G11	67,20	53,13	60,17a	3,65	3,17	3,41a
G12	62,00	52,60	57,30a	3,45	3,21	3,33a
G13	57,73	44,20	50,97b	3,17	2,86	3,02b

G14	58,07	60,20	59,13a	3,52	3,56	3,54a
G15	66,53	58,87	62,70a	3,54	3,29	3,41a
G16	58,13	48,53	53,33b	3,49	3,18	3,34a
G17	58,20	56,60	57,40a	3,30	3,31	3,30a
G18	64,80	54,20	59,50a	3,71	3,37	3,54a
G19	55,87	58,27	57,07a	3,30	3,43	3,37a
G20	60,13	55,93	58,03a	3,29	3,22	3,26a
G21	61,35	56,40	58,88a	3,35	3,21	3,28a
G22	59,53	52,27	55,90a	3,38	3,22	3,30a
G23	64,20	56,07	60,13a	3,61	3,18	3,40a
G24	54,47	49,60	52,03b	3,33	3,18	3,25a
G25	55,73	49,67	52,70b	3,20	3,18	3,19a
G26	58,33	60,67	59,50a	3,56	3,38	3,47a
G27	60,60	57,33	58,97a	3,45	3,35	3,40a
G28	62,67	54,67	58,67a	3,42	3,06	3,24a
G29	60,73	51,73	56,23a	3,51	3,28	3,40a
G30	57,47	51,27	54,37a	3,41	3,28	3,34a
G31	65,47	62,93	64,20a	3,41	3,26	3,33a
G32	38,25	48,07	43,16c	2,19	2,94	2,56c
G33	55,27	50,20	52,73b	3,31	3,18	3,25a
G34	47,87	38,67	43,27c	3,13	2,96	3,05b
G35	64,33	50,47	57,40a	3,73	3,29	3,51a
G36	59,33	48,13	53,73b	3,40	3,30	3,35a
média	59,52 A	52,93 B	56,23	3,38 A	3,22 B	3,30

Letras maiúsculas comparam os ambientes, letras minúsculas comparam os genótipos.

#### 4.3.2 Índices de tolerância

Os índices SSI, TOL e YSI não apresentaram efeito significativo para genótipo (Tabela 4) e, conseqüentemente, todos os genótipos foram considerados dentro de um mesmo grupo pelo teste Scott e Knott (Tabela 9). O índice STI separou os genótipos em três grupos. Os genótipos nos índices GMP, MP e HM foram agrupados em dois grupos. Para o índice STI o grupo com as maiores médias foi formado por sete genótipos (33, 16, 18, 4, 21, 9 e 32). O grupo com maiores médias para os índices GMP e MP e HM contém 21 genótipos (33, 16, 18, 4, 21, 9, 32, 8, 27, 24, 29, 1, 22, 25, 34, 3, 10, 7, 19, 26 e 17) (Tabela 9).

Tabela 9. Resultados para análise de agrupamento de médias por Scott e Knott para os índices de tolerância ao estresse hídrico índice de susceptibilidade ao estresse (SSI), produtividade média geométrica (GMP), produtividade média (MP), média

harmônica (HM), tolerância (TOL), índice de tolerância ao estresse (STI) e índice de estabilidade de rendimento (YSI).

GEN	SSI	GMP	MP	HM	TOL	STI	YSI
1	4,12a	4144,11a	4158,33a	4129,97a	1530,00a	0,99b	0,99a
2	5,36a	3077,66b	3095,87b	3059,59b	2014,92a	0,55c	0,83a
3	3,90a	3963,79a	3966,67a	3960,92a	1346,67a	0,90b	1,01a
4	5,37a	4488,30a	4511,67a	4465,08a	2270,00a	1,16a	0,83a
5	5,48a	3118,51b	3149,09b	3088,39b	2128,48a	0,56c	0,81a
7	6,19a	3473,18b	3522,52b	3424,61b	2558,38a	0,69c	0,72a
7	4,10a	3949,84a	3983,33a	3916,88a	1540,00a	0,89b	0,99a
8	4,66a	4267,23a	4290,00a	4244,78a	1840,00a	1,05b	0,92a
9	5,12a	4402,68a	4416,67a	4388,75a	2086,67a	1,11a	0,86a
10	4,53a	3959,98a	3993,33a	3927,31a	1813,33a	0,90b	0,93a
11	4,82a	3793,39b	3803,33b	3783,50b	1833,33a	0,82c	0,90a
12	4,71a	3399,64b	3413,33b	3386,08b	1800,00a	0,67c	0,91a
13	4,93a	3693,90b	3711,67b	3676,39b	1883,33a	0,78c	0,88a
14	5,22a	3666,80b	3680,33b	3653,32b	2006,00a	0,78c	0,84a
15	3,85a	3416,40b	3441,67b	3391,44b	1470,00a	0,67c	1,02a
16	4,68a	4544,44a	4573,33a	4515,92a	1926,67a	1,19a	0,91a
17	5,91a	3868,22a	3913,33a	3823,82a	2493,33a	0,86b	0,76a
18	5,38a	4503,48a	4525,00a	4482,09a	2250,00a	1,18a	0,82a
19	4,67a	3933,71a	3948,33a	3919,18a	1823,33a	0,89b	0,91a
20	4,11a	3346,54b	3346,67b	3346,42b	1446,67a	0,64c	0,99a
21	5,53a	4436,92a	4464,06a	4409,96a	2371,88a	1,13a	0,81a
22	4,05a	4133,24a	4172,58a	4094,33a	1581,51a	0,99b	0,99a
23	5,94a	3560,20b	3610,00b	3511,46b	2426,67a	0,73c	0,75a
24	4,37a	4224,00a	4230,00a	4218,01a	1633,33a	1,02b	0,95a
25	5,99a	4051,00a	4098,33a	4004,38a	2590,00a	0,94b	0,75a
26	4,54a	3912,60a	3921,67a	3903,58a	1723,33a	0,88b	0,93a
27	5,96a	4247,50a	4293,33a	4202,24a	2626,67a	1,03b	0,75a
28	3,34a	3177,12b	3181,67b	3172,59b	1163,33a	0,58c	1,08a
29	5,01a	4163,79a	4175,00a	4152,62a	1976,67a	1,00b	0,87a
30	6,06a	3581,05b	3650,08b	3513,95b	2593,18a	0,74c	0,74a
31	4,20a	3559,61b	3571,69b	3547,57b	1536,71a	0,73c	0,98a
32	5,64a	4335,99a	4368,33a	4303,95a	2423,33a	1,08a	0,79a
33	4,82a	4955,90a	4963,33a	4948,47a	1940,00a	1,41a	0,90a
34	3,44a	3975,78a	4026,67a	3925,76a	1446,67a	0,92b	1,07a
35	5,09a	3786,10b	3811,67b	3760,97b	2023,33a	0,82c	0,86a
36	4,04a	2903,64b	2921,00b	2886,40b	1471,33a	0,49c	1,00a

Letras minúsculas comparam os genótipos.

Levando-se em consideração o ranqueamento para cada índice (Tabela 10), GMP, HM, MP, e STI apresentaram os genótipos 33,16, 18, 4, 21, 9 e 32 como os mais tolerantes ao estresse hídrico. O índice SSI apresentou os genótipos 28, 15, 3,



7, 20, 1 e 31 como os mais tolerantes ao estresse hídrico. No índice TOL os sete genótipos mais tolerantes foram 22, 27, 25, 30, 6, 17 e 23. De acordo com o ranqueamento para YSI, os genótipos 28, 34, 15, 3, 36, 22 e 7 foram considerados os mais tolerantes.

Tabela 10. Ranking dos genótipos para os índices de tolerância ao estresse hídrico: índice de susceptibilidade ao estresse (SSI), produtividade média geométrica (GMP), produtividade média (MP), média harmônica (HM), tolerância (TOL), índice de tolerância ao estresse (STI) e índice de estabilidade de rendimento (YSI).

GEN	SSI	R	GMP	R	MP	R	HM	R	TOL	R	STI	R	YSI	R
1	2,11	6	4144,11	12	4158,33	13	4129,97	12	1030,00	32	0,99	13	0,99	9
2	3,22	24	3077,66	35	3095,87	35	3059,59	35	1508,33	16	0,55	35	0,83	25
3	1,91	3	3963,79	16	3966,67	18	3960,92	15	846,67	35	0,90	16	1,01	4
4	3,25	25	4488,30	4	4511,67	4	4465,08	4	1770,00	10	1,16	4	0,83	26
5	3,34	27	3118,51	34	3149,09	34	3088,38	34	1628,33	12	0,56	34	0,81	28
6	4,01	36	3473,18	29	3522,52	29	3424,61	29	2071,67	5	0,69	29	0,72	36
7	2,09	4	3949,84	18	3983,33	17	3916,88	19	1040,00	31	0,89	18	0,99	7
8	2,60	11	4267,23	8	4290,00	9	4244,78	8	1340,00	22	1,05	8	0,92	14
9	3,02	22	4402,68	6	4416,67	6	4388,75	6	1586,67	13	1,11	6	0,86	23
10	2,49	9	3959,98	17	3993,33	16	3927,31	16	1313,33	25	0,90	17	0,93	12
11	2,74	15	3793,39	22	3803,33	23	3783,50	22	1333,33	23	0,82	22	0,90	19
12	2,65	14	3399,64	31	3413,33	31	3386,08	31	1300,00	26	0,67	31	0,91	17
13	2,85	19	3693,90	24	3711,67	24	3676,39	24	1383,33	21	0,78	24	0,88	20
14	3,11	23	3666,80	25	3680,33	25	3653,32	25	1506,00	17	0,78	25	0,84	24
15	1,87	2	3416,40	30	3441,67	30	3391,44	30	970,00	33	0,67	30	1,02	3
16	2,62	13	4544,44	2	4573,33	2	4515,92	2	1426,67	20	1,19	2	0,91	16
17	3,74	30	3868,22	21	3913,33	21	3823,82	21	1993,33	6	0,86	21	0,76	31
18	3,25	25	4503,48	3	4525,00	3	4482,09	3	1750,00	11	1,18	3	0,82	27
19	2,61	12	3933,71	19	3948,33	19	3919,18	18	1323,33	24	0,89	19	0,91	15
20	2,10	5	3346,54	32	3346,67	32	3346,42	32	946,67	34	0,64	32	0,99	8
21	3,39	28	4436,92	5	4464,06	5	4409,96	5	1870,00	9	1,13	5	0,81	29
22	3,94	35	4133,24	13	4172,58	12	4094,33	13	2180,33	1	0,99	12	0,99	6
23	3,77	31	3560,20	27	3610,00	27	3511,46	28	1926,67	7	0,73	27	0,75	32
24	2,34	8	4224,00	10	4230,00	10	4218,01	9	1133,33	29	1,02	10	0,95	11
25	3,80	33	4051,00	14	4098,33	14	4004,38	14	2090,00	3	0,94	14	0,75	34
26	2,49	10	3912,60	20	3921,67	20	3903,58	20	1223,33	28	0,88	20	0,93	13
27	3,78	32	4247,50	9	4293,33	8	4202,24	10	2126,67	2	1,03	9	0,75	33
28	1,39	1	3177,12	33	3181,67	33	3172,59	33	663,33	36	0,58	33	1,08	1
29	2,92	20	4163,79	11	4175,00	11	4152,62	11	1476,67	18	1,00	11	0,87	21
30	3,85	34	3581,05	26	3650,08	26	3513,95	27	2076,67	4	0,74	26	0,74	35
31	2,20	7	3559,61	28	3571,69	28	3547,57	26	1051,67	30	0,73	28	0,98	10
32	3,49	29	4335,99	7	4368,33	7	4303,95	7	1923,33	8	1,08	7	0,79	30
33	2,74	15	4955,90	1	4963,33	1	4948,47	1	1440,00	19	1,41	1	0,90	18

34	2,78	17	3975,78	15	4026,67	15	3925,76	17	1536,67	14	0,92	15	1,07	2
35	2,99	21	3786,10	23	3811,67	22	3760,97	23	1523,33	15	0,82	23	0,86	22
36	2,80	18	2903,64	36	2921,00	36	2886,40	36	1271,33	27	0,49	36	1,00	5

Quanto menor o valor de R, melhor o desempenho do genótipo dentro do índice

A partir do ranqueamento individual dos genótipos (Tabela 10) foi elaborado um ranqueamento global de acordo com o somatório das classificações em cada índice (Tabela 11). Os genótipos 33 (BRS 264), 16 (VI 14001), 8 (VI 14118), 9 (VI 9004), 18 (VI 14214), 4 (VI131313) e 24 (VI14197) foram os melhores classificados neste ranqueamento.

Tabela 11. Ranking global dos índices de tolerância ao estresse.

GEN	R	SR	SDR	RS	R global
1	13,11	118	8,10	21,21	11
2	30,33	273	11,04	41,37	35
3	16,22	146	10,41	26,64	19
4	9,78	88	8,69	18,47	6
5	30,00	270	11,17	41,17	34
6	27,44	247	11,87	39,32	32
7	16,67	150	8,79	25,45	17
8	11,00	99	5,24	16,24	3
9	10,89	98	7,03	17,91	4
10	16,11	145	6,18	22,30	13
11	21,22	191	6,88	28,10	22
12	26,78	241	9,98	36,76	29
13	23,00	207	7,25	30,25	23
14	24,00	216	7,62	31,62	25
15	23,89	215	13,15	37,04	30
16	7,33	66	6,77	14,10	2
17	2,11	190	9,61	30,72	24
18	9,00	81	9,35	18,35	5
19	18,00	162	6,13	24,13	15
20	26,33	237	12,90	39,23	31
21	11,11	100	9,77	20,88	9
22	12,44	112	9,30	21,75	12
23	25,44	229	10,41	35,85	27
24	11,44	103	7,24	18,68	7
25	17,33	156	10,61	27,95	20
26	18,89	170	7,32	26,21	18
27	14,11	127	11,03	25,14	16
28	26,00	234	14,98	40,98	33
29	14,22	128	5,72	19,95	8
30	25,00	225	11,58	36,58	28

31	23,00	207	10,36	33,36	26
32	12,89	116	9,57	22,46	14
33	6,44	58	7,61	14,06	1
34	14,33	129	6,82	21,15	10
35	21,22	191	6,80	28,03	21
36	29,33	264	13,21	42,54	36

Soma de classificação =  $RS = \bar{R} + SDR$ ; sendo  $SDR = (S_i^2)^{0,5}$  onde,  $\bar{R}$  é a média de classificação e SDR é o desvio padrão de classificação. Quanto menor o R global melhor o desempenho do genótipo.

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1 Estimativa do estresse

Os resultados do balanço hídrico sequeiro (Figura 4), se comparados com o balanço hídrico ideal (Figura 5), corroboram que o estresse aplicado aos genótipos naquele ambiente foi severo, pois no período de maior demanda de água do trigo, houve um déficit hídrico de 133,29 mm durante 14 dias. O coeficiente de cultura ( $K_c$ ) é uma variável de grande valia para determinar a demanda hídrica das culturas e, conseqüentemente, estabelecer o momento e a quantidade de água a aplicar (ANTUNES, 2000). De acordo com ALLEN *et al.* (1998), o  $K_c$  para o trigo alcança seu ápice (1,15) no início da fase reprodutiva e tem duração de 50 dias aproximadamente, justamente o momento no qual suspendemos a irrigação.

### 5.2 Análises de variância

De acordo com ANOVA conjunta a interação  $G \times A$  foi não-significativa para RG, PH, M100, ME, MGE, NGE e FERT, o que pode indicar que os genótipos revelaram um desempenho similar nos ambientes, não indicando haver interação complexa, principalmente. O comportamento diferencial dos genótipos provoca a interação genótipo x ambiente ( $G \times A$ ). O processo de seleção se torna mais desafiador, uma vez que a relação entre o fenótipo e o verdadeiro valor genotípico é enfraquecido mediante a ocorrência de interação  $G \times A$  (AGAHÍ *et al.* 2020; BORÉM *et al.* 2021). Dessa forma, há fortes evidências que, para as características citadas acima, não houve alterações

no ranqueamento dos genótipos do irrigado para o sequeiro ao ponto de serem detectadas a 5% de probabilidade.

As características agronômicas RG, M100, ME, MGE, NGE, e FERT tiveram efeito significativo para genótipo, o que demonstra haver variabilidade genética entre os genótipos de trigo. Para o parâmetro de coeficiente de determinação genotípico ( $\hat{r}_{gg}^2$ ), em quatro dos oito caracteres agronômicos os valores foram maiores no ambiente irrigado em relação aos valores do ambiente sequeiro e conjunto. De acordo com Vasconcelos *et al.* (2012), o coeficiente de determinação genotípica possui conotação similar à herdabilidade, contudo, possibilita inferências acerca apenas de genótipos quando o efeito deste é considerado fixo, e não da população. Os valores superiores de  $\hat{r}_{gg}^2$  no ambiente irrigado possivelmente podem estar associados a maior expressão de genes dos genótipos nessa condição em relação ao outro ambiente e/ou maior efeito da variação residual em relação à genotípica. A magnitude do  $\hat{r}_{gg}^2$  da ANOVA conjunta foi inferior para todas as características agronômicas, indicando que a variância da interação genótipo  $\times$  ambiente reduziu a proporção da contribuição genética. Yokomizo e Velo (2000), também relataram que a influência do ambiente é uma das possíveis causas na variação do  $\hat{r}_{gg}^2$  ao estimarem o coeficiente de determinação genotípica através de 74 cruzamentos de soja.

Em relação a análise de variância dos índices de tolerância, três deles (TOL, SSI e YSI) não revelaram efeito significativo para genótipo, o que impossibilita a discriminação dos melhores frente ao nível de estresse aplicado. Clarke *et al.* (1992) também não conseguiram por meio do SSI diferenciar genótipos potencialmente tolerantes à seca. Os autores mostraram que o índice SSI baseado em rendimento de grãos não diferenciava entre genótipos potencialmente resistentes à seca e aqueles que possuíam baixo potencial de rendimento de grãos geral. Fard e Sedaghat (2013) e Golabadi *et al.* (2006), no entanto, relataram diferenças significativas para TOL, SSI e YSI, em genótipos avaliados sob condição de estresse e não estresse. Kumar *et al.* (2020) trabalhando com 160 cultivares de trigo durante duas temporadas (2014-2015 e 2016-2017) na Índia, em ambientes sequeiro e irrigado, utilizaram nove índices de tolerância à seca para avaliarem o comportamento dessas cultivares frente ao estresse hídrico. A partir deste estudo, os pesquisadores concluíram que entre os índices de tolerância testados há índices indicados para níveis de estresse mais severos (SSI) e outros indicados para níveis moderados (HM, MP e TOL). Isso indica

a necessidade de avaliação da intensidade de estresse para escolha do índice de tolerância ao estresse para avaliação dos genótipos.

Em relação ao  $\hat{r}_{gg}^2$  para os sete índices de tolerância avaliados, SSI, TOL e YSI tiveram valores próximos a zero, indicando que eles não foram suficientes para separar os genótipos em diferentes grupos. Por outro lado, os índices STI, GMP, MP e HM agruparam os genótipos de trigo em dois e três grupos, demonstrando que são suficientes para seleção dos genótipos com melhor performance.

Para as características agronômicas nos dois ambientes estudados, a qualidade experimental pode ser considerada adequada, uma vez que no ambiente irrigado o maior valor de CVe foi 11,71% e no ambiente sequeiro, o maior valor de CVe foi 14,56%. Os valores de CVe observados para o RG e demais características agronômicas avaliadas neste estudo foram similares aos observados por Nardino *et al.* (2022a) em um estudo de meta análise das principais variáveis agronômicas do trigo, no qual os autores realizaram uma busca em todos os principais periódicos nacionais.

Os valores de CVe para os índices de tolerância à seca encontrados no nosso trabalho indicaram relativa precisão, pois obtivemos valores de 36,39% para TOL, 26,8% para SSI e valores abaixo de 18,68% para os demais índices. Santos *et al.* (2020) encontraram valores de CVe inferiores a 33,84% e nunca superior a 20,35% para todos os índices de tolerância à seca ao aplica-los na avaliação de 86 híbridos de milho, em ambientes irrigado e sequeiro durante três anos consecutivos de avaliação (2011, 2012 e 2013). Estes valores corroboram a relativa precisão da presente pesquisa para estimação dos índices de tolerância ao estresse. O CVe constantemente vem sendo utilizado como um parâmetro de avaliação da precisão experimental. Tomando-se como base a comparação do valor de CVe da presente pesquisa com valores encontrados por outros autores podemos estimar a precisão do experimento, tanto pertinente à avaliação das características agronômicas quanto aos índices de tolerância ao estresse. Ressaltando que no estudo de Nardino *et al.* (2020) foram realizadas via simulação computacional o estudo de CVe, onde os autores concluíram que é relevante ter cautela na comparação da precisão experimental de CVe provenientes de diferentes experimentos.

### 5.3 Agrupamento de médias

Em relação ao agrupamento de médias via teste Scott e Knott para as oito características avaliadas, RG, M100 e NEspE formaram o maior número de grupos, ou seja, foram as características que melhor assimilaram a resposta dos genótipos e possibilitaram a identificação dos genótipos com melhores performance.

Os estudos sobre tolerância à seca em trigo demonstraram grande importância no atual cenário brasileiro, uma vez que a triticultura vem se expandindo para a região do cerrado e ou tropical. Segundo Nardino *et al.* (2022b) a redução do rendimento de grãos é um dos mecanismos de defesa da planta de trigo frente ao estresse, logo a identificação de genótipos que demonstrem tolerância em ambiente de seca ou que sejam resilientes a esse estresse são de grande avanço tecnológico para o setor tritícola brasileiro. Em nosso estudo identificamos 34 genótipos que no ambiente sequeiro obtiveram produtividade superior à média nacional de 2830 Kg/ha (CONAB 2022), o que demonstra resiliência desses genótipos frente ao estresse por seca.

Levando-se em consideração o ranqueamento para cada índice (Tabela 9), percebemos que GMP, HM, MP, e STI apresentaram os mesmos genótipos (33,16, 18, 4, 21, 9 e 32) como os mais tolerantes ao estresse hídrico e os mesmos genótipos (15, 12, 20, 28, 5, 2 e 36) como os mais sensíveis ao estresse. Outro fator que evidenciou a redundância dos índices foi o agrupamento de médias via teste Scott e Knott, pois a partir deste teste os índices GMP, HM e MP apresentaram o mesmo agrupamento para genótipos, reforçando a possibilidade de trabalhar com apenas um destes três índices. Farshadfar *et al.* (2012), por meio de índices, avaliaram a tolerância à seca de 20 variedades de trigo. Os pesquisadores também identificaram a redundância dos índices GMP, MP e STI o que corrobora com a perspectiva de uso de apenas um deles. Ainda segundo esses autores, a identificação de genótipos tolerantes à seca com base em um único critério foi contraditória. Essa contradição também foi percebida no presente trabalho, pois os genótipos considerados como mais tolerantes de acordo com alguns índices, foram considerados como mais sensíveis quando comparados em outros índices. Como exemplo os sete genótipos mais tolerantes de acordo com o índice YSI foram 28, 34, 15, 3, 36, 22 e 7; quando avaliados no índice STI os sete genótipos mais sensíveis ao estresse foram 36, 2, 5, 28, 20, 12 e 15.

Uma maneira de se identificar os genótipos mais tolerantes à seca utilizando um conjunto de índices é realizar o ranqueamento global (Tabela 11). Os genótipos que apresentaram o melhor rank médio e baixo desvio padrão dos ranks em condição de estresse serão considerados os mais tolerantes. Entre os sete índices aqui estudados, o índice STI formou o maior número de grupos, ou seja, foi um índice que melhor captou a resposta dos genótipos nesse nível de estresse. Tendo em vista a dificuldade de reprodutibilidade de estresse, esse índice se mostra uma boa opção enquanto ferramenta de seleção de genótipos para alto rendimento de grãos, independentemente do nível de estresse (FERNANDEZ,1992).

Mohammadi e Golkari (2022) avaliaram a tolerância à seca de 206 acessos de trigo a partir de índices de tolerância e concluíram que STI foi um dos índices mais eficazes na identificação de acessos com maior produtividade, tanto em condições de seca quanto irrigadas, o que corrobora com os resultados observados na presente pesquisa.

Alguns dos objetivos principais dos programas de melhoramento de trigo em regiões tropicais são o desenvolvimento, seleção e recomendação de linhagens resilientes ao estresse hídrico, em cultivo de sequeiro. Nessa pesquisa com 31 linhagens em fase de VCU e cinco cultivares comerciais foram identificadas seis linhagens (VI 14001, VI 14118, VI 9004, VI 14214, VI 131313, VI 14197) desenvolvidas pelo Programa Trigo-UFV e uma cultivar comercial (BRS 264) com potencial para ambientes que venham a ter oscilações de precipitação, assim como são potenciais fonte de genes importantes para programas de melhoramento que visam a obtenção de ganhos genéticos para a tolerância à seca.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Pesquisas relacionadas a tolerância a seca em trigo no Brasil são ainda incipientes e necessárias, considerando o avanço que a triticultura tem como perspectivas. As pesquisas do melhoramento genético têm grande relevância na identificação de variabilidade genética e seleção de genótipos de trigo resilientes a essas condições de ambiente.

A pesquisa considerando 36 genótipos de trigo, onde 31 são linhagens do Programa Trigo-UFV, revelaram que há variabilidade para tolerância a seca, tornando possível a seleção de genótipos com maior tolerância a esse estresse.

Entre os oito índices de tolerância utilizados os índices produtividade média geométrica, produtividade média, média harmônica, e índice de tolerância ao estresse foram suficientes para separar os genótipos de trigo tolerantes dos genótipos sensíveis, o que demonstra que são índices ótimos para serem empregados em novas pesquisas de tolerância a seca em trigo.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGAHI, K.; AHMADI, J.; OGHAN, H. A.; FOTOKIAN, M. H.; ORANG, S. F. Analysis of genotype x environment interaction for seed yield in spring oilseed rape using the AMMI model. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n. 1, p. 1-8, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1984-70332020v20n1a2>.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO Irrigation and Drainage, 333p, 1998.

ANTUNES, R. C. B. **Determinação da evapotranspiração e influência da irrigação e da fertirrigação em componentes vegetativos, reprodutivos e nutricionais do café arábica**. Viçosa: UFV, 2000. 165p. (Dissertação de Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.

BATISTA, F. P. S. **Potencial de tolerância à seca de genótipos de trigo e soja em condição de Cerrado**. 2017. 180 p. Tese (Doutorado em Agronomia), Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Brasília.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V.; FRITSCHÉ-NETO, R. **Melhoramento de plantas**. 8º ed. São Paulo: Oficina De Textos, 2021, 384p.

BOUSLAMA, M.; SCHAPAUGH, W.T. Stress tolerance in soybean. Part 1: evaluation of three screening techniques for heat and drought tolerance. **Crop Science**, v. 24, p. 933-937, 1984.

CARGNIN, A.; SOUZA, M. A.; ROCHA, V. S.; MACHADO, J. C.; PICCINI, E. Tolerância ao estresse térmico em genótipos de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 8, p. 1269-1276, 2006.

CLARKE, J. M.; PAUW, R. M.; Townley-Smith, T. F. Evaluation of Methods for Quantification of Drought Tolerance in Wheat. **Crop Science**, v. 32, p. 723-728, 1992. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1992.0011183X003200030029x>



CONAB-Companhia Nacional de Abastecimento, 2022. **Análise mensal, trigo**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-trigo>>. Acesso em 26 de março de 2022

CORRÊA, A. A. P. **Desempenho de cultivares de trigo em condições de estresses térmico e hídrico**. 2018. 87p. Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal (FCAV), UNESP.

CRUZ, C.D. Genes software – extended and integrated with the R, Matlab and Selegen. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 38, n. 4, p. 547-552, 2016.

DIAS, L. A. S. Análises multidimensionais. In: ALFENAS, A. C. (Editor) **Eletroforese de isoenzimas e proteínas afins**. Viçosa, MG: UFV, 1998, p. 405-475.

DIAS, L. A. S.; BARROS, W. S. **Biometria experimental**. Viçosa, MG: UFV, 2009, p. 217-296.

FARD, A.K.; SEDAGHAT, S. Evaluation of drought tolerance indices in bread wheat recombinant inbred lines. **European Journal of Experimental Biology**, v. 3, p. 201-204, 2013.

FARSHADFAR, E.; ELYASI, P. Screening quantitative indicators of drought tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) landraces. **European Journal of Experimental Biology**. v. 2, p. 577-584, 2012.

FERNANDEZ, G. C. J. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: **Proceeding of International Symposium on Adaptation of Food Crops to Temperature and Water Stress**. Taiwan, Chapter 25, p.257-270, 1992. DOI: 10.22001/wvc.72511.

FISCHER, R.A.; MAURER, R. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.29, p.897-912, 1978.

FLEURY, D. *et al.* Genetic and genomic tools to improve drought tolerance in wheat. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, n. 12, p. 3211-3222, jun. 2010. DOI: 10.1093/jxb/erq152.

GOLABADI, M.; ARZANI, A.; MIRMOHAMMADI MAIBODY S. A. M. **African Journal of Agricultural Research**, v. 1, n. 5, p. 162-171, 2006.

JAFARI, A.; PAKNEJAD, F.; JAMI AL-AHMADI, M. Evaluation of selection indices for drought tolerance of corn (*Zea mays* L.) hybrids. **International Journal of Plant Production**, v.3, n.4, p.33-38, 2012. DOI: 10.22069/ijpp.2012.661

KUMAR, A., BHARTI, B., KUMAR, J., SANTOSH, SINGH, G.P., JAISWAL, J.P. PRASAD,R. Evaluation of drought tolerance indices for identification of drought tolerant and susceptible genotypes in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Electronic Journal of Plant Breeding**, v. 11, n. 03, p. 727-734, 2020.

KRISTIN, A.S.; SERNA, R.R.; PÉREZ, F.I.; ENRÍQUEZ, B.C.; GALLEGOS, J.A.A.; VALLEJO, P.R.; WASSIMI, N.; KELLEY, J.D. Improving common bean performance under drought stress. **Crop Science**, v.37, p.43-50, 1997. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700010007x>

MITRA, J. Genetics and genetic improvement of drought resistance in crop plants. **Current Science**, V. 80, N. 6, p. 758-763, 2001.

MOHAMMADI, R.; GOLKARI, S. Genetic resources for enhancing drought tolerance from a mini-core collection of spring bread wheat (*Triticum aestivum* L.) **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 44, n. 1, p. 1-15, 2022. DOI: [10.4025/actasciagron.v44i1.56129](https://doi.org/10.4025/actasciagron.v44i1.56129)

Mondal, S.; Singh, R. P.; Huerta-Espino, J.; Kehel, Z.; Autrique, E. Characterization of Heat- and Drought-Stress Tolerance in High-Yielding Spring Wheat. **Crop Science**, v. 55, p. 1552-1562, 2015. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.10.0709>

MORI, C. Aspectos econômicos da produção e utilização. Em: BORÉM, A., SCHEEREN, P. L. (editores). **Trigo: do plantio à colheita**. 1. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2015, p.11.

MORI, C. de; TÔSTO, S. G.; HIRAKURI, M. H. **Caracterização e avaliação econômica de sistemas de cultivo de trigo nos Biomas Pampa, Mata Atlântica e Cerrado**. - Portal Embrapa. In: TÔSTO, S. et al. (editores). Caracterização e avaliação econômica de sistemas de produção e cultivo de grãos em biomas brasileiros. Brasília - DF: Embrapa, 2018. p. 197-227.

NARDINO, M.; PEREIRA, J. M.; MARQUES, V. T.; D'AVILA, F. C.; FRANCO, F. D.; BARROS, W. S. Coefficient of variation: a new approach for the study in maize experiments. **Brazilian Journal of Biometrics**, v. 38, n. 2, p. 185–206, 2020. DOI: [10.28951/rbb.v38i2.440](https://doi.org/10.28951/rbb.v38i2.440).

NARDINO, M.; SILVA, F. F.; OLIVOTO, T.; BARROS, W. S.; CARVALHO, C. G.; SIGNORINI, V. S.; MEZZOMO, H. C.; CASAGRANDE, C. R. Meta-analysis of the experimental coefficient of variation in wheat using the Bayesian and Frequentist approaches. **Scientia Agricola [online]**, v. 80, p. 1-14, 2022a. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2021-0190>.

NARDINO, M.; PERIN, E.C.; ARANHA, B.C.; CARPES, S.T., FONTOURA, B.H.; FREITAS, D. S. Understanding drought response mechanisms in wheat and multi-trait selection. **PLOS ONE** v. 17, n. 4, p. 1-22, 2022b. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266368>.

OLIVEIRA, D. M.; SOUZA, M. A.; ROCHA, V. S.; ASSIS, J. C. Desempenho de genitores e populações segregantes de trigo sob estresse de calor. **Bragantia**, v. 70, n. 1, p. 25-32, 2011

PASINATO, A.; *et al.* CUNHA, G. R.; FONTANA, D. C.; MONTEIRO, J. E. B. A.; NAKAI, A. M.; OLIVEIRA, A. F. Área potencial e limitações para a expansão do trigo

de sequeiro no bioma Cerrado do Brasil Central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 7, p. 779-790, 2018. DOI: 10.1590/S0100-204X2018000700001.

PASSIOURA, J. Phenotyping for drought tolerance in grain crops: when is it useful to breeders? **Functional Plant Biology**, v. 39, n. 11, p. 851-859, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1071/FP12079>.

PLAUT, Z.; BUTOW, B.J.; BLUMENTHAL, C.S.; WRIGLEY, C.W.; Transport of dry matter into developing wheat kernels and its contribution to grain yield under post-anthesis water deficit and elevated temperature. **Field Crops Research**, v. 86, p. 185–198, 2004. DOI:10.1016/j.fcr.2003.08.005

RAMIREZ, P.; KELLY, J.D. Traits related to drought resistance in common bean. **Euphytica**, v. 99, p. 127-136, 1998.

RESENDE, M.D.V.de; ALVES, R.S. Linear, generalized, hierarchical, bayesian and random regression mixed models in genetics/genomics in plant breeding. **Functional Plant Breeding**, v. 2, n. 2, p. 1-31, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.35418/2526-4117/v2n2a1>

RICHARDS, L. A. Methods of measuring soil moisture tension. **Soil Science of American Journal**, Baltimore, v. 68, n. 1, p. 95-112, 1949.

ROSIELLE, A.A.; HAMBLIN, J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. **Crop Science**, v. 21, p. 943-946, 1981.

SANTOS, D.; GUIMARÃES, V. F.; KLEIN, J.; FIOREZI, S. L.; JÚNIOR, E. K. M. Cultivares de trigo submetidas a déficit hídrico no início do florescimento, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [online]., v. 16, n. 8, p. 836-842, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000800004>.

SANTOS, A.O.; PINHO, R.G.V.; SOUZA, V.F.; GUIMARÃES, L.J.M.; BALESTRE, M.; SILVA, C.P. Grain yield, anthesis-silking interval and drought tolerance indices of tropical maize hybrids in Crop Breeding and Applied Biotechnology. **Brazilian Society of Plant Breeding**, v. 20, n. 1, p. 1-9, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1984-70332020v20n1a10>.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. **Biometrics**, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.

SIO-SE MARDEH, A.; AHMADI, A.; POUSTINI, K.; MOHAMMADI, V. Evaluation of drought resistance indices under various environmental conditions. **Field Crops Research**, v. 98, p. 222–229, 2006. DOI: 10.1016/j.fcr.2006.02.001

TAKEDA, S., MATSUOKA, M. Genetic approaches to crop improvement: responding to environmental and population changes. **Nat Rev Genet**, v. 9, n. 6, p. 444-57, 2008. DOI: 10.1038/nrg2342. PMID: 18475268.

USDA, 2022. Grain: World **Markets and Trade**. Disponível em: <<https://usda.library.cornell.edu/concern/publications/zs25x844t?locale=en>> Acesso em 26 de março de 2022.

van Genuchten, M.T. van. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

VASCONCELOS, E. S.; REIS, M. S.; SEDYIAMA, T.; CRUZ, C. D. Estimativas de parâmetros genéticos da qualidade fisiológica de sementes de genótipos de soja produzidas em diferentes regiões de Minas Gerais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 65-76, 2012.

YOKOMIZO, G.; VELLO, N. Coeficiente de determinação genotípica e de diversidade genética em topocruzamentos de soja tipo alimento com tipo grão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 11 p. 2223-2228, 2000. DOI: 10.1590/S0100-204X2000001100014.

ZADOKS, J.C.; CHANG, T.T.; KONZAK, C.F. A decimal code for the growth stages of cereals. **Weed Research**, v. 14, p. 415-421, 1974. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1974.tb01084.x>