

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**DESEMPENHO DE CULTIVARES DE TRIGO EM
CONDIÇÕES DE ESTRESSES TÉRMICO E HÍDRICO**

Aretha Arcenio Pimentel Corrêa

Tecnóloga em Biocombustíveis

2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**DESEMPENHO DE CULTIVARES DE TRIGO EM
CONDIÇÕES DE ESTRESSES TÉRMICO E HÍDRICO**

Aretha Arcenio Pimentel Corrêa

Orientadora: Profa. Dra. Sandra Helena Unêda-Trevisoli

Coorientadora: Dra. Edina Regina Moresco

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de
Jaboticabal, como parte das exigências para
a obtenção do título de Doutor em
Agronomia (Genética e Melhoramento de
Plantas)**

2018

C824d Corrêa, Aretha Arcenio Pimentel
Desempenho de cultivares de trigo em condições de estresses térmico e hídrico / Aretha Arcenio Pimentel Corrêa. -- Jaboticabal, 2018

xvi, 71 p. : il. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2018

Orientadora: Sandra Helena Unêda-Trevisoli

Coorientadora: Edina Regina Moresco

Banca examinadora: Eduardo Custódio Gasparino, Everlon Cid Rigobelo, Ivana Marino Bárbaro Torneli, Viviane Formice Vianna

Bibliografia

1. *Triticum aestivum*. 2. Calor. 3. Seca. 4. Cerrado. 5. Interação genótipo x ambiente. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.11

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: DESEMPENHO DE CULTIVARES DE TRIGO EM CONDIÇÕES DE ESTRESSES
TÉRMICO E HÍDRICO

AUTORA: ARETHA ARGENIO PIMENTEL CORRÊA
ORIENTADORA: SANDRA HELENA UNÊDA TREVISOLI
COORIENTADORA: EDINA REGINA MORESCO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA
(GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS), pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. SANDRA HELENA UNÊDA TREVISOLI
Departamento de Produção Vegetal / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Profa. Dra. VIVIANE FORMICE VIANNA
ITES - FETAQ / Taquaritinga/SP

Prof. Dr. EVERLON RICARDO RIGOBELO
Departamento de Produção Vegetal / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Pesquisadora Dra. IVANA MARINO BÁRBARO TORNELI
Secretaria da Agricultura e Abastecimento / APTA / Colina/SP

Prof. Dr. EDUARDO CUSTODIO GASPARINO
Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 23 de janeiro de 2018

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

ARETHA ARCENIO PIMENTEL CORRÊA – nascida em 01 de dezembro de 1989 em Jaboticabal/SP. Ingressou em agosto de 2008 no curso de Tecnologia em Biocombustíveis na Faculdade de Tecnologia – Fatec de Jaboticabal, obtendo o grau de Tecnóloga em Biocombustíveis em fevereiro de 2012. No mês seguinte iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas) pela Universidade Estadual Paulista - Unesp de Jaboticabal. Nesse período foi bolsista do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq. Obteve o título de Mestre em fevereiro de 2014, e em março do mesmo ano deu início ao curso de Doutorado, no qual foi bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Capes.

“When wheat is ripening properly, when the wind is blowing across the field, you can hear the beards of the wheat rubbing together. They sound like the pine needles in a forest. It is a sweet, whispering music that once you hear you never forget.”

Norman Borlaug

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Prof. Dra. Sandra Helena Unêda-Trevisoli, por me dar oportunidade de aprender diversas técnicas e trabalhar com diferentes espécies, além dos ensinamentos transmitidos desde a graduação, por todos esses anos;

À Dra. Edina Regina Moresco, pela valiosa coorientação;

Aos membros da Banca de Qualificação e Defesa, Dr. Rinaldo César de Paula, Dra. Cibele Chalita Martins, Dra. Viviane Formice Vianna, Dra. Ivana Marino Bárbaro Torneli, Dr. Eduardo Custódio Gasparino e Dr. Everlon Cid Rigobelo pelas contribuições e compreensão com as falhas;

Aos docentes do programa de Genética e Melhoramento de Plantas pelo conhecimento transmitido;

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal, em especial ao Faro pelo auxílio no estabelecimento dos experimentos;

Aos funcionários da Seção de Pós-graduação, em especial ao Diego e à Branca, por sempre me ajudarem e sanarem minhas dúvidas;

À UNESP Jaboticabal pela estrutura e por fazer parte da minha evolução profissional;

À CAPES pela concessão da bolsa de doutorado;

À minha colega e amiga Fabiana Mota da Silva, que tirou diversas dúvidas em relação ao trigo, que me auxiliou em tantos momentos nos experimentos e análises estatísticas, que foi fundamental para a finalização desse estudo;

Aos colegas do Laboratório de Biotecnologia Aplicada ao Melhoramento de Plantas, pela convivência e churrascos;

À toda minha família, especialmente minha mãe, Elba, que foi minha fortaleza quando as coisas ficaram difíceis e pelo auxílio para debulhar as espigas e contar os grãos, ao meu pai, Joel, que sempre incentivou a busca pelo conhecimento, e minha vó Carmem, por tantas orações em todos momentos de angústia;

Ao meu namorado e parceiro de vida, Guilherme, pelo auxílio nos primeiros experimentos, por tirar dúvidas agrônômicas, pela paciência que parece ser eterna e compreensão nos meus momentos de estresse;

À todos que contribuíram direta ou indiretamente para realização deste trabalho;

MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

RESUMO.....	x
ABSTRACT	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xii
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE FIGURAS	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Trigo: origem e aspectos econômicos.....	3
2.2. Crescimento e desenvolvimento da planta	4
2.3. Zoneamento agroclimático.....	6
2.3.1. Sistema sequeiro	8
2.3.2. Sistema irrigado.....	9
2.4. Fisiologia do estresse	10
2.4.1. Estresse térmico	11
2.4.2. Estresse hídrico	13
2.5. Melhoramento genético de trigo no Brasil.....	14
2.5.1. Melhoramento para estresses térmico e hídrico	16
2.6. Análises estatísticas.....	17
2.6.1. Análise de correlações genéticas e fenotípicas	17
2.6.2. Análise multivariada.....	18
2.6.2.1. Análise de componentes principais	18
2.6.2.2. Análise de agrupamento.....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1. Material genético.....	21
3.2. Condições experimentais.....	22
3.3. Avaliações.....	24
3.4. Análises estatísticas.....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26

4.1. Análises de variância	26
4.2. Correlações genéticas e fenotípicas	44
4.3. Análises multivariadas	48
4.3.1. Análise de componentes principais.....	48
4.3.2. Análise de agrupamento	57
5. CONCLUSÕES.....	63
6. REFERÊNCIAS	63

DESEMPENHO DE CULTIVARES DE TRIGO EM CONDIÇÕES DE ESTRESSES TÉRMICO E HÍDRICO

RESUMO – O melhoramento genético de trigo para a região do Cerrado brasileiro visa o desenvolvimento de genótipos adaptados às condições de calor e seca, além de produtivos. Neste sentido, o objetivo do presente estudo foi avaliar a tolerância de cultivares de trigo submetidas aos estresses térmico e hídrico, por meio da avaliação de caracteres relevantes para o melhoramento da cultura, bem como estudar a relação entre eles. Para tanto, 30 cultivares de trigo foram submetidas às quatro condições em casa de vegetação: Controle, Seca, Seca+Calor, e Calor, aplicando os estresses do período do emborrachamento até o final da antese, por meio da suspensão da irrigação e da exposição às temperaturas elevadas. Foram avaliados os caracteres: dias para o emborrachamento, dias para o espigamento, dias para a antese, ciclo, altura da planta, nº de espigas por planta, peso médio de espigas, peso de grãos por espiga, tamanho médio de espigas, nº de espiguetas por espiga, nº de grãos por espiga e porcentagem de espiguetas férteis. Foram realizadas análises de variância individuais e conjunta, análise de correlações genéticas e fenotípicas, análise de componentes principais e análise de agrupamento pelos métodos de Ward e “K-means”. Os resultados da análise de variância conjunta entre os ambientes Controle, Seca e Calor indicaram a existência de interação genótipo x ambiente para as características ciclo, nº de espigas por planta, peso médio de espigas, peso de grãos por espiga, tamanho médio de espigas, nº de espiguetas por espiga, nº de grãos por espiga e porcentagem de espiguetas férteis. As correlações entre os caracteres de produção foram afetadas no ambiente Seca, quando comparadas às correlações obtidas nos ambientes Controle e Calor. O caráter nº de espigas por planta apresentou correlação negativa com os outros caracteres de produção em todos os ambientes. A fertilidade das espiguetas foi mais afetada no ambiente Seca. Nas análises de componentes principais, três autovalores explicaram uma variância superior a 80% em todos os ambientes. Na análise de componentes principais envolvendo os três ambientes simultaneamente, os componentes de produção ficaram retidos no primeiro componente, seguido por peso de grãos e porcentagem de espiguetas férteis no segundo componente, enquanto ciclo e altura ficaram retidos somente no terceiro. As análises de agrupamento formaram cinco grupos para os ambientes Controle e Calor e sete grupos para o ambiente Seca. Observou-se ainda que, em situação de estresse térmico, as cultivares mais produtivas foram IPR Catuara TM, BRS Galha Azul, Anahuac 75 e IPR 144. Sob deficiência hídrica, destacaram-se Embrapa 21, Quartzo, BRS 208. As cultivares com menor adaptação às condições de estresse de modo geral, foram BRS 229, BRS 327 e Topázio.

Palavras-chave: *Triticum aestivum*, calor, seca, Cerrado, interação genótipo x ambiente.

PERFORMANCE OF WHEAT CULTIVARS IN HEAT AND DROUGHT STRESSES CONDITIONS

ABSTRACT – Wheat breeding for Brazilian Cerrado region aims the development of productive genotypes adapted to heat and drought. In this sense, the objective of the present study was to evaluate the tolerance of wheat cultivars subjected to heat and drought stresses, as well as to study the relationships between traits that are relevant to wheat breeding. Therefore, 30 cultivars were conducted in four different greenhouse environments, namely: Control, Drought, Drought + Heat, and Heat, applying the stresses in the period of booting until final anthesis, by suspending the irrigation and exposing to high temperatures. Were evaluated the number of days to booting, number of days to heading, number of days to anthesis, cycle, plant height, number of spikes per plant, mean spike weight, mean grain weight, mean spike size, number of spikelets per spike, number of grains per spike and percentage of fertile spikelets. Was performed individual and joint analysis of variance, genotypic and phenotypic correlations analysis, principal component analysis and cluster analysis by Ward's and “K-means” methods. The results of the joint variance analysis between the Control, Drought, and Heat environments indicated the existence of genotype x environment interactions for the variables cycle, number of spikes per plant, mean spike weight, mean grain weight, mean spike size, number of spikelets per spike, number of grains per spike and percentage of fertile spikelets. The correlations between the production characters were affected in the drought stress environment when compared to Control and Heat environments. The variable number of spikes per plant showed a negative correlation with the other production characters in all environments. Drought stress affected the fertility of the spikelets. In the principal components analysis, three eigenvalues explained a variance greater than 80% in all environments. In the principal components analysis involving the three environments simultaneously, the yield traits were retained in the first component, followed by grain weight and percentage of fertile spikelets in the second component, while cycle and plant height were retained only in the third. The cluster analyzes formed five groups for the Control and Heat environments and seven groups for the Drought environment. It was also observed that, in the event of heat stress, the most productive cultivars were IPR Catuara TM, BRS Gralha Azul, Anahuac 75 and IPR 144. Under water deficiency, Embrapa 21, Quartzo and BRS 208 stood out. The cultivars that showed less adaptation under stress conditions were BRS 229, BRS 327 and Topázio.

Keywords: *Triticum aestivum*, thermal stress, water stress, Cerrado, genotype x environment interactions.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%EF	Porcentagem de Espiguetas Férteis;
ALT	Altura das Plantas;
CIC	Ciclo;
DAN	Dias para a Antese;
DEM	Dias para o Emborrachamento;
DES	Dias para o Espigamento;
NEE	Número de Espiguetas por Espiga;
NEP	Número de Espigas por Planta;
NGE	Número de Grãos por Espiga;
PCA	Análise de Componentes Principais;
PGE	Peso de Grãos por Espiga;
PME	Peso Médio de Espigas;
TME	Tamanho Médio de Espigas.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Relação das 30 cultivares de trigo avaliadas nos experimentos em casa de vegetação, suas respectivas genealogias e indicações de cultivo. FCAV/UNESP Jaboticabal, 2018.....21
- Tabela 2.** Quadrados médios das análises de variância individuais e conjunta, médias e coeficientes de variação (CV%), para as características: dias para o emborrachamento (DEM), dias para o espigamento (DES), dias para a antese (DAN), ciclo (CIC), altura das plantas (ALT), número de espigas por planta (NEP), peso médio de espigas (PME), peso de grãos por espiga (PGE), tamanho médio de espigas (TME), número de espiguetas por espiga (NEE), número de grãos por espiga (NGE) e porcentagem de espiguetas férteis (%EF) avaliadas em experimentos de desempenho de cultivares de trigo.....28
- Tabela 3.** Médias de 30 cultivares de trigo para características avaliadas em todos os ambientes e porcentagem de perda das características no ambiente Seca+Calor em comparação com os demais.....29
- Tabela 4.** Médias das cultivares de trigo no ambiente Seca+Calor para todas as características avaliadas.....30
- Tabela 5.** Teste de Scott-Knott para as médias das características que não apresentaram interação G x A nos experimentos de desempenho de cultivares de trigo sob estresses térmico e hídrico.....32
- Tabela 6.** Teste de Scott-Knott para as médias das características ciclo (CIC) e número de espigas por planta (NEP) das 30 cultivares de trigo avaliadas nos ambientes Controle, Calor e Seca.....33
- Tabela 7.** Teste de Scott-Knott para as médias das características peso médio de espigas (PME) e peso de grãos por espiga (PGE) das 30 cultivares de trigo avaliadas nos ambientes Controle, Calor e Seca.....36
- Tabela 8.** Teste de Scott-Knott para as médias das características tamanho médio de espigas (TME) e número de espiguetas por espiga (NEE) das 30 cultivares de trigo avaliadas nos ambientes Controle, Calor e Seca.....39
- Tabela 9.** Teste de Scott-Knott para as médias das características número de grãos por espiga (NGE) e porcentagem de espiguetas férteis (%EF) das 30 cultivares de trigo avaliadas nos ambientes Controle, Calor e Seca.....42
- Tabela 10.** Matrizes de correlações genéticas (acima da diagonal) e fenotípicas (abaixo da diagonal) de características avaliadas em 30 cultivares de trigo em condições de Controle, Calor e Seca.....45
- Tabela 11.** Valores das correlações entre os componentes principais (CP) e as características avaliadas em 30 cultivares de trigo nos ambientes Controle, Calor e Seca.....49

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Principais etapas do desenvolvimento da planta de trigo de acordo com a escala de Zadoks.....5
- Figura 2.** Mapa das regiões homogêneas de adaptação para trigo no Brasil.....7
- Figura 3.** Casa de vegetação onde os experimentos de avaliação de cultivares de trigo foram conduzidos (a); detalhe do plantio (b); visão geral do experimento após o plantio (c); plantas aos dez dias após a emergência, quando houve o desbaste (d).....24
- Figura 4.** Estágios de (A) emborrachamento, (B) espigamento e (C) antese, da planta de trigo.....25
- Figura 5.** Visão geral dos ambientes a) controle; b) seca; c) seca+calor e d) calor, durante a fase de espigamento, nos experimentos de avaliação de cultivares de trigo.....27
- Figura 6.** Parcelas que apresentaram desenvolvimento fenológico desuniforme entre as plantas de trigo no experimento de avaliação de cultivares no ambiente Seca+Calor.....31
- Figura 7.** Comportamento das 30 cultivares de trigo avaliadas nos ambientes Controle, Calor e Seca para a característica ciclo.....34
- Figura 8.** Comportamento das 30 cultivares de trigo avaliadas nos ambientes Controle, Calor e Seca para a característica número de espigas por planta.....35
- Figura 9.** Comportamento das 30 cultivares de trigo avaliadas nos ambientes Controle, Calor e Seca para a característica peso médio de espigas.....37
- Figura 10.** Comportamento das 30 cultivares de trigo avaliadas nos ambientes Controle, Calor e Seca para a característica peso de grãos por espiga.....38
- Figura 11.** Comportamento das 30 cultivares de trigo avaliadas nos ambientes Controle, Calor e Seca para a característica tamanho médio de espigas.....40
- Figura 12.** Comportamento das 30 cultivares de trigo avaliadas nos ambientes Controle, Calor e Seca para a característica número de espiguetas por espiga.....41
- Figura 13.** Anomalias na formação de espiguetas e espiga totalmente infértil de cultivares de trigo expostas ao estresse térmico.....41
- Figura 14.** Comportamento das 30 cultivares de trigo avaliadas nos ambientes Controle, Calor e Seca para a característica número de grãos por espiga.....43
- Figura 15.** Comportamento das 30 cultivares de trigo avaliadas nos ambientes Controle, Calor e Seca para a característica porcentagem de espiguetas férteis.....44

Figura 16. Gráfico biplot com dispersão dos genótipos de trigo no ambiente Controle em função dos componentes principais CP1xCP2 (a) e CP1XCP3 (b) e projeção dos vetores das características: CIC: ciclo; ALT: altura das plantas; NEP: número de espigas por planta; NEE: número de espiguetas por espiga; NGE: número de grãos por espiga; TME: tamanho de espigas; PGE: peso de grãos por espiga; PME: peso médio de espigas e %EF: porcentagem de espiguetas férteis.....50

Figura 17. Gráfico biplot com dispersão dos genótipos de trigo no ambiente Calor em função dos componentes principais CP1xCP2 (a) e CP1XCP3 (b) e projeção dos vetores das características: CIC: ciclo; ALT: altura das plantas; NEP: número de espigas por planta; NEE: número de espiguetas por espiga; NGE: número de grãos por espiga; TME: tamanho de espigas; PGE: peso de grãos por espiga; PME: peso médio de espigas e %EF: porcentagem de espiguetas férteis.....52

Figura 18. Gráfico biplot com dispersão dos genótipos de trigo no ambiente Seca em função dos componentes principais CP1xCP2 (a) e CP1XCP3 (b) e projeção dos vetores das características: CIC: ciclo; ALT: altura das plantas; NEP: número de espigas por planta; NEE: número de espiguetas por espiga; NGE: número de grãos por espiga; TME: tamanho de espigas; PGE: peso de grãos por espiga; PME: peso médio de espigas e %EF: porcentagem de espiguetas férteis.....53

Figura 19. Gráfico biplot com dispersão dos genótipos (A-Controle; B-Calor; C-Seca) de trigo em todos os ambientes em função dos componentes principais CP1xCP2 (a) e CP1XCP3 (b) e projeção dos vetores das características: CIC: ciclo; ALT: altura das plantas; NEP: número de espigas por planta; NEE: número de espiguetas por espiga; NGE: número de grãos por espiga; TME: tamanho de espigas; PGE: peso de grãos por espiga; PME: peso médio de espigas e %EF: porcentagem de espiguetas férteis.....55

Figura 20. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico utilizando a distância Euclidiana e método de aglomeração de Ward para cultivares de trigo no ambiente Controle.....57

Figura 21. Gráfico do perfil da distribuição do centroide dos grupos da análise de agrupamento por “K-means” formados a partir das características: CIC: ciclo; ALT: altura das plantas; NEP: número de espigas por planta; NEE: número de espiguetas por espiga; NGE: número de grãos por espiga; TME: tamanho de espigas; PGE: peso de grãos por espiga; PME: peso médio de espigas e %EF: porcentagem de espiguetas férteis; para cultivares de trigo no ambiente Controle.....58

Figura 22. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico utilizando a distância Euclidiana e método de aglomeração de Ward para cultivares de trigo no ambiente Calor.....59

Figura 23. Gráfico do perfil da distribuição do centroide dos grupos da análise de agrupamento por “K-means” formados a partir das características: CIC: ciclo; ALT: altura das plantas; NEP: número de espigas por planta; NEE: número de espiguetas por espiga; NGE: número de grãos por espiga; TME: tamanho de espigas; PGE:

peso de grãos por espiga; PME: peso médio de espigas e %EF: porcentagem de espiguetas férteis; para cultivares de trigo no ambiente Calor.....60

Figura 24. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico utilizando a distância Euclidiana e método de aglomeração de Ward para cultivares de trigo no ambiente Seca.....61

Figura 25. Gráfico do perfil da distribuição do centroide dos grupos da análise de agrupamento por “K-means” formados a partir das características: CIC: ciclo; ALT: altura das plantas; NEP: número de espigas por planta; NEE: número de espiguetas por espiga; NGE: número de grãos por espiga; TME: tamanho de espigas; PGE: peso de grãos por espiga; PME: peso médio de espigas e %EF: porcentagem de espiguetas férteis; para cultivares de trigo no ambiente Seca.....62

1. INTRODUÇÃO

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma monocotiledônea anual, pertencente à Família botânica Poaceae, que engloba todas as gramíneas. É considerado um cereal básico para a civilização, sendo uma das espécies mais cultivadas no mundo.

No Brasil, a produção anual oscila entre cinco e seis milhões de toneladas, sendo cultivado nas regiões Sul (RS, SC e PR), Sudeste (MG e SP) e Centro-oeste (MS, GO e DF). Entretanto, a produção nacional, embora tenha números expressivos, não supre a demanda interna. Para complementar o consumo, o Brasil tem importado milhões de toneladas do cereal anualmente. Na safra 2016/17, a importação brasileira de trigo foi de 7,09 milhões de toneladas, a um custo de US\$1346,8 milhões (CONAB, 2017).

Para reduzir a dependência externa e o gasto com a importação de trigo, é importante buscar alternativas de áreas produtoras. Neste contexto, a região do Brasil Central, envolvendo Minas Gerais, parte de São Paulo, Goiás, Mato Grosso, Distrito Federal, parte da Bahia e do Mato Grosso do Sul, constitui ótima alternativa para expansão da área tritícola brasileira; tanto para cultivo de sequeiro quanto irrigado (CONDÉ et al., 2013a).

A principal limitação do trigo nesta região é a ocorrência de temperaturas muito elevadas durante o ciclo da cultura, causando prejuízos em todas as fases de crescimento da planta, levando à redução no rendimento final de grãos. Cargnin et al. (2006) e Oliveira et al. (2011) registraram perdas de até 50% no potencial produtivo do trigo em função do estresse térmico. Longas horas de exposição à temperatura moderadamente alta (22 a 28 °C) assim como breve exposição à temperatura muito alta (> 30 °C) afetaram o desenvolvimento do trigo e ocasionaram redução de produtividade (STONE; NICOLAS, 1994). Outro fator limitante, segundo Ribeiro Junior et al. (2006), são os veranicos. A produtividade do trigo depende da quantidade de água disponível no solo, sendo que o rendimento médio das culturas irrigadas chega a ser três vezes maior que em condições de sequeiro.

Dessa forma, o desenvolvimento de genótipos tolerantes ao estresse térmico e hídrico e com elevado rendimento de grãos é um dos objetivos dos programas de melhoramento genético de trigo (ACUÑA-GALINDO et al., 2014; AL-KARAKI, 2012;

MONDAL et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2011; PINTO; REYNOLDS, 2015; TAHMASEBI et al., 2015), especialmente para as condições do Brasil Central (MACHADO et al., 2010). Deve-se então, havendo disponibilidade de variabilidade genética, desenvolver cultivares adaptadas a altas temperaturas e à seca, para subsidiar a expansão da cultura em áreas não tradicionais (SOUZA; PIMENTEL, 2013). Nesse contexto, os objetivos deste trabalho foram: i) estudar o efeito dos estresses térmico e hídrico sobre a fenologia, morfologia, componentes de produção e fertilidade da espiga; ii) analisar as relações entre essas características; iii) caracterizar cultivares de trigo quanto à tolerância ao calor e à seca, buscando subsídio de informações aos programas de melhoramento de trigo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Trigo: origem e aspectos econômicos

Evidências arqueológicas indicam que uma região denominada Crescente Fértil, no sudoeste da Ásia, é o local de origem do trigo, quando teve início a domesticação de espécies selvagens. O gênero *Triticum* L. possui várias espécies e subespécies, que são poliplóides, com número cromossômico igual a sete, podendo ser: diplóides ($2n = 2x = 14$), tetraplóides ($2n = 4x = 28$) e hexaplóides ($2n = 6x = 42$) (BUENO; MENDES; CARVALHO, 2006).

Atualmente, a espécie de maior distribuição geográfica e mais cultivada é a *Triticum aestivum*. Conhecido como trigo para pão, é uma espécie hexaplóide, formada por três genomas distintos AA, BB e DD, sendo este último, o genoma que contém os genes relacionados às características de panificação (FORNASIERI FILHO, 2008). Outra espécie de trigo economicamente relevante é a *T. durum* L., tetraploide, utilizado para produção de macarrão, contendo apenas os genomas AA e BB, correspondendo a cerca de 10% da produção mundial de trigo (POEHLMAN; SLEPER, 1995).

Sendo uma das primeiras espécies a ser cultivada pelo homem, o trigo está associado ao desenvolvimento da civilização ocidental e da agricultura moderna. Atualmente, o trigo ocupa mais de 17% da área cultivável no mundo e representa cerca de 30% da produção mundial de grãos, sendo o segundo grão mais cultivado do mundo, após o milho (DE MORI, 2016).

A área cultivada com o cereal supera os 220 milhões de hectares em todo o mundo, com produção de aproximadamente 760 milhões de toneladas. No Brasil, a área semeada na safra atual foi de cerca de 1,9 milhões de hectares, com produção de 4,25 milhões de toneladas (USDA, 2018).

Entretanto, o consumo anual *per capita* do brasileiro supera os 56 kg (DE MORI, 2016), fazendo com que a demanda de trigo para o consumo interno supere 11 milhões de toneladas, levando o Brasil a importar cerca de 7 milhões de toneladas anualmente (CONAB, 2017). Do ano de 2012 até 07/2017, o Brasil importou cerca de 35 milhões de toneladas de trigo, o que custou mais de US\$ 9 bilhões ao país (ABITRIGO, 2017).

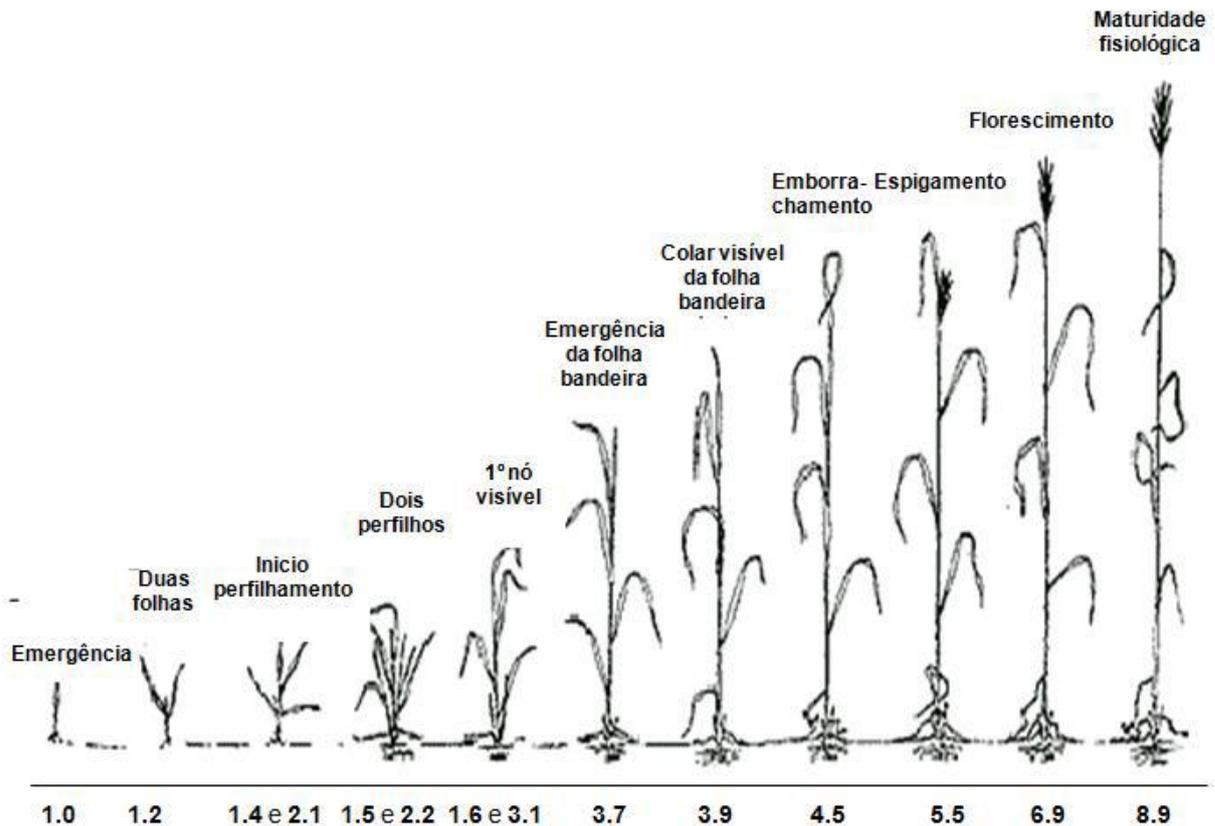
Quanto à produção nacional de trigo, cerca de 85% é originária do Sul do país, principalmente nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul. Essa concentração da produção tem consequências na estabilização da produção nacional por conta da instabilidade climática, além de gerar um problema na cadeia produtiva referente à logística de distribuição e armazenamento dos grãos (BRAGAGNOLO; SBRISSIA; MAFIOLETTI, 2007) Dessa forma, a busca por novas fronteiras agrícolas é uma alternativa para incremento da produção brasileira, e parte do cerrado brasileiro surge como estratégia para o desenvolvimento da cultura do trigo (RIBEIRO, 2012).

2.2. Crescimento e desenvolvimento da planta

O trigo é uma gramínea, com sistema radicular fasciculado, com brotação de perfilhos associados à planta-mãe, dependendo das condições de solo e clima. É uma espécie anual, autógama, podendo ser classificada como cultura de primavera, inverno ou facultativa, de acordo com sua exigência em fotoperíodo e temperatura. A planta possui de 6 a 9 folhas, e sua inflorescência é denominada espiga. O ciclo do trigo varia conforme o grupo bioclimático e o componente genético das cultivares, sendo que no Brasil fica entre 100 e 160 dias (CAIERÃO et al., 2016).

O ciclo de desenvolvimento do trigo pode ser dividido em três fases: vegetativa, reprodutiva e enchimento de grãos (RODRIGUES et al., 2011). Para a descrição dos estádios de desenvolvimento, existem diferentes sistemas de escalas, sendo atualmente a mais recomendada, a escala de Zadoks (Figura 1), por considerar conjuntamente as fases vegetativa e reprodutiva (FORNASIERI FILHO, 2008).

Na escala de Zadoks (ZADOKS; CHANG; KONZAK, 1974), o primeiro dígito refere-se ao estágio principal de desenvolvimento, iniciando com a germinação (estádio 0) e terminando com a maturidade fisiológica dos grãos (estádio 9). O segundo dígito é utilizado para subdivisão do estágio principal (FORNASIERI FILHO, 2008).



Fonte: Fornasieri Filho (2008).

Figura 1. Principais etapas do desenvolvimento da planta de trigo de acordo com a escala de Zadoks.

O ciclo da planta de trigo pode ser mais detalhadamente descrito destacando-se as seguintes etapas: germinação, estabelecimento da plântula e produção de folhas, perfilhamento e diferenciação da espiga, emergência da espiga e florescimento, enchimento do grão e maturidade (FORNASIERI FILHO, 2008). A duração de cada subperíodo é determinada pela interação genótipo x ambiente e delimitada pelos estádios de desenvolvimento (RODRIGUES et al., 2011).

Os principais componentes do ambiente que afetam o desenvolvimento do trigo são o fotoperíodo e a temperatura. A temperatura afeta o crescimento do trigo por meio da aceleração da taxa de desenvolvimento, encurtando o ciclo. Esse efeito é causado pela ativação de sistemas enzimáticos pelo aumento da temperatura (RODRIGUES et al., 2011). Além disso, o trigo é uma planta de dia longo, ou seja, ela acelera o seu desenvolvimento quanto maior for o fotoperíodo, até um limite de 20 horas/dia. Entretanto, isso depende da sensibilidade do genótipo, havendo genótipos que respondem ao fotoperíodo e à vernalização (indução da floração por

baixas temperaturas) e outros genótipos que são indiferentes ou pouco exigentes (RODRIGUES et al., 2011). Ainda que os trigos brasileiros sejam classificados generalizadamente como “trigo de primavera”, eles apresentam variabilidade quanto à resposta a vernalização, havendo cultivares que não espigam dependendo do regime térmico local, como é o caso da BRS Tarumã (CUNHA et al., 2016).

Existe uma faixa ótima de temperatura para o crescimento pleno de uma planta, que é inerente à cada espécie, cada genótipo e a cada fase do desenvolvimento. A temperatura ótima para o crescimento do trigo, de acordo com Souza e Pimentel (2013), seria: 20°C na germinação, 8°C na fase vegetativa, 15°C na fase reprodutiva e 18°C da floração à maturação fisiológica dos grãos. Para Condé et al. (2013a), na fase inicial do ciclo, a exigência é por alta umidade e temperaturas medianas (20-25°C), que favorecem o fechamento do ciclo vegetativo; na fase de floração e granação, a preferência é por temperaturas amenas (10-20°C). Já na fase de maturação fisiológica e colheita, há necessidade de temperaturas mais elevadas (25-30°C) e clima seco que diminuem a ocorrência de doenças e favorecem a qualidade dos grãos.

De acordo com Fornasieri Filho (2008), o clima favorável para o cultivo do trigo é descrito como tendo invernos suaves, verões quentes, com alta radiação solar, sem chuvas fortes, com o suprimento de água fornecido principalmente pela umidade armazenada no solo. Segundo Fronza et al. (2007), a quantidade de água necessária para o ciclo completo da planta de trigo varia entre 400 e 500 mm.

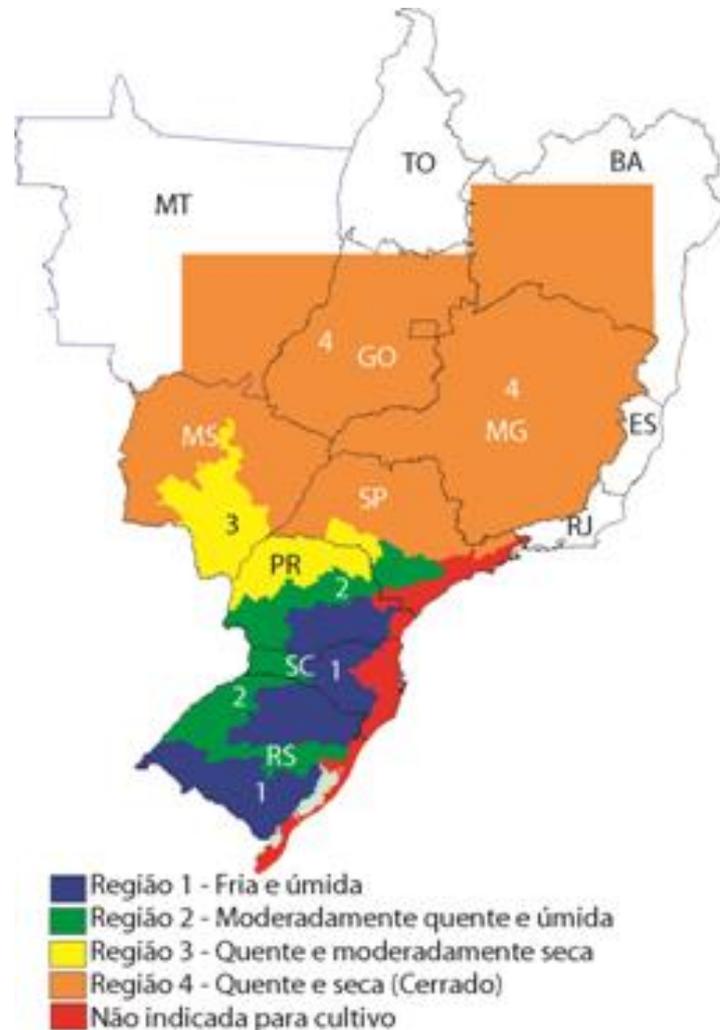
Seu cultivo concentra-se nas zonas temperadas e subtropicais do mundo, entre latitudes 15 e 60° N e 25 e 40° S, desde o nível do mar até a 3000 m e com precipitações anuais variando de 250 a 2000 mm (FORNASIERI FILHO, 2008).

2.3. Zoneamento agroclimático

O Brasil foi dividido primeiramente em três regiões tritícolas: Região Sul-Brasileira, Região Centro-Sul-Brasileira e Região Centro-Brasileira. A primeira, que engloba os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e o sul do Paraná, é caracterizada por precipitação elevada e solos ácidos. A Região Centro-Sul-Brasileira, que abrange as demais regiões do Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo, a precipitação pluvial é considerada baixa e os solos podem ou não ser

ácidos. Por sua vez, a Região Centro-Brasileira dispõe sobre os estados de Goiás, Distrito Federal, Minas Gerais, Mato Grosso e Bahia. Nessa região, o trigo pode ser cultivado em sistema de sequeiro, com estresses térmico e hídrico e em sistema irrigado, em época de precipitação mais baixa ou nula e condições térmicas mais favoráveis (CUNHA et al., 2016).

Entretanto, devido a necessidade de aperfeiçoamento dos experimentos de Valor de Cultivo e Uso (VCU) para o lançamento de cultivares, foi estabelecida em outubro de 2008 a Instrução Normativa nº 3, que divide as regiões tritícolas em Regiões Homogêneas de Adaptação de Cultivares de Trigo (RHACT) (Figura 2). (CUNHA et al., 2016).



Fonte: Cunha et al., 2006.

Figura 2. Mapa das regiões homogêneas de adaptação para trigo no Brasil.

As quatro regiões foram demarcadas considerando a precipitação pluvial na estação de crescimento do trigo; a quantidade de frio invernal, ou seja, a temperatura média das mínimas do mês mais frio; excesso de calor na fase de enchimento dos grãos, ou seja, a temperatura média das máximas nessa fase; a altitude, e o histórico de estatística de rendimento de grãos (CUNHA et al., 2016).

Apesar da plasticidade do trigo para cultivo em diferentes regiões do mundo, o seu rendimento e viabilidade econômica podem ser fortemente influenciados pelas condições do clima. Na região 1, o excesso de umidade relativa do ar nos meses de setembro e outubro, a ocorrência de geadas no espigamento e no florescimento, chuvas na colheita e granizo são os principais problemas climáticos. Na região 2 as adversidades são: a umidade do ar, que, embora menor, ainda leva à ocorrência de doenças; as geadas e secas durante o espigamento e o florescimento; e chuvas no período da colheita. Já nas regiões 3 e 4, a ocorrência de altas temperaturas durante o período de espigamento e enchimento de grãos causa encurtamento deste período e conseqüentemente, formação de grãos chochos (FORNASIERI FILHO, 2008).

As regiões tritícolas 1, 2 e 3, apesar de possuírem área suficiente para atender a demanda do consumidor brasileiro, têm registrado produtividades irregulares devido à variações climáticas, levando a uma diversificação das áreas de cultivo como maneira de aumentar a estabilidade da produção. Por isso, a região 4, caracterizada pelo clima quente e seco do Cerrado, tem representado ótimo potencial para expansão da triticultura brasileira, seja em sistema de sequeiro ou irrigado (FORNASIERI FILHO, 2008).

2.3.1. Sistema sequeiro

O sistema de sequeiro é uma opção para o período de safrinha do trigo, que, apesar dos estresses térmico e hídrico, permite aproveitar o fim do período chuvoso, tornando possível o cultivo sem irrigação, com colheita prevista para o início da estação seca (FORNASIERI FILHO, 2008).

As épocas de semeadura levam em consideração o ciclo das cultivares indicadas para a região, o critério hídrico e de altitude, e a capacidade de retenção de água do solo, variando da metade de janeiro ao fim de março (FORNASIERI

FILHO, 2008). Na região Central, o período indicado vai do fim de janeiro ao fim de fevereiro, para diminuir o risco de incidência de brusone, evitando a ocorrência de chuvas no período de espigamento (SÓ e SILVA et al., 2016).

No Brasil, a maior parte do trigo cultivado em regime de sequeiro é no sul do país, principalmente no Rio Grande do Sul e no Paraná, em uma época do ano em que a chuva exceda a evapotranspiração da cultura. Geralmente, na região sul, o excesso de umidade é mais problemático do que a falta de água. Os problemas com deficiência hídrica começam a aparecer a partir do norte do Paraná em direção ao centro do país (CUNHA et al., 2016).

A produtividade média varia de 1,5 a 3,0 t ha⁻¹ em sistema de sequeiro, com a vantagem de apresentar menor custo de produção uma vez que não há gasto com irrigação. A área potencial para cultivo do trigo em sequeiro é extensa, podendo chegar a quatro milhões de hectares na região do Cerrado (RIBEIRO, 2012).

2.3.2. Sistema irrigado

No sistema irrigado, o cultivo de trigo é indicado em sucessão à cultura do feijão ou de hortaliças, em esquemas de pivô central, época de baixa precipitação e condições térmicas mais favoráveis. Em Minas Gerais, é indicado para altitudes acima de 400 m, em Goiás e DF para altitudes acima dos 500 m, e acima de 600 m para Mato Grosso e Bahia. A semeadura deve ser feita de abril até o final de maio em solos com elevada retenção de água, e a colheita é prevista para os meses de agosto e setembro, época em que o mercado encontra-se em escassez de trigo (FORNASIERI FILHO, 2008).

O trigo irrigado tem sido considerado importante por romper o ciclo de doenças e pragas de leguminosas e hortaliças e além disso ter um manejo simplificado, pois sofre pouco com moléstias. Outra vantagem, é que o trigo cultivado no Cerrado é o primeiro a ser colhido no Brasil, o que faz com que atinja melhores preços que os cultivados no Sul (CONDÉ et al., 2013b).

O maior potencial de produtividade de trigo brasileiro ocorre em regime irrigado na região do Cerrado, chegando a 9 t/ha em ensaios de competição de linhagens (CAIERÃO et al., 2016), e médias de produtividade de 5 t/ha, comparáveis

às obtidas nos cultivos do continente europeu (BRAMMER; SCAGLIUSI; LAU, 2016).

2.4. Fisiologia do estresse

Levitt (1980), propõe que estresse biológico é qualquer mudança nas condições ambientais que atua no organismo, produzindo alterações no metabolismo ou redução do crescimento normal do vegetal. A fisiologia do estresse diz respeito a esta alteração do metabolismo dos vegetais em resposta às condições desfavoráveis do ambiente (LOPES; LIMA, 2015). Esta resposta ao estresse pode ser reversível (elástica), quando o organismo volta a ter suas funções normalizadas quando o estresse é removido, ou irreversível (plástica), quando o metabolismo da planta não retorna ao seu funcionamento regular.

Uma planta tolerante ao estresse é aquela apta a enfrentar o ambiente desfavorável. Se a tolerância aumenta devido a uma exposição prévia ao fator estressante, ocorrendo mudanças em um curto período de tempo, diz-se que a planta está aclimatada. A adaptação, no entanto, diz respeito a um nível de resistência geneticamente determinado, adquirido por seleção durante muitas gerações (LEVITT, 1980).

A resposta da planta ao estresse é coordenada pelos hormônios vegetais. Indivíduos considerados suscetíveis a um determinado estresse são aqueles que sofrem alterações no seu metabolismo, as quais são traduzidas na forma de injúrias mais ou menos importantes. Por outro lado, se o organismo não apresenta sintomas de injúria por estresse, deve ser considerado como tolerante (LEVITT, 1980).

Plantas suscetíveis são aquelas que não têm a capacidade de detectar a presença do fator de estresse ou de reagir alterando seu sistema hormonal. A planta pode reagir a ocorrência de estresse de três maneiras: evitando, tolerando ou escapando. No primeiro caso, o organismo possui barreiras físicas ou químicas que evitam o contato dos tecidos da planta com o fator de estresse, evitando seus efeitos, como por exemplo, cutícula espessa, ceras, estômatos embutidos, ou tecidos suculentos relacionados a ambientes com longos períodos de seca, por exemplo (LOPES; LIMA, 2015).

Porém, existem outros mecanismos de proteção nos quais o estresse entra em contato com os tecidos e a planta deve reagir para superar o estado de tensão. Essa reação é feita mediante o uso de mecanismos que acarretam gasto de energia metabólica, e, portanto o organismo deve atingir um equilíbrio com o fator de estresse, é a situação característica de mecanismos de tolerância. E, além da evitância e da tolerância, há o escape, que baseia-se na falta de coincidência entre o momento de ocorrência do estresse com a de máxima suscetibilidade do tecido (LOPES; LIMA, 2015).

Múltiplos estresses são em grande parte responsáveis pela diferença entre o potencial de produção e a produtividade de fato obtida na lavoura. Na região do Cerrado brasileiro, potencial para expansão da triticultura, os estresses térmico e hídrico caracterizam-se como principais fatores limitantes.

2.4.1. Estresse térmico

O estresse por calor é definido como o aumento da temperatura acima de um valor crítico, por período suficiente a causar danos irreversíveis ao crescimento e ao desenvolvimento das plantas (WAHID et al., 2007). Segundo Souza, Pimentel e Ribeiro (2011), a elevação da temperatura em 10-15°C acima da temperatura ambiente é considerada choque térmico ou estresse por calor.

A temperatura é um dos principais condicionantes do crescimento e desenvolvimento das plantas, e desvios da faixa ótima implicam em alterações em diversos processos metabólicos, com perdas qualitativas e quantitativas no produto final, e em casos extremos, culminando na morte prematura das plantas (SOUZA; PIMENTEL; RIBEIRO, 2011). Segundo Wahid et al. (2007), a capacidade das plantas sobreviverem em condições de estresse e principalmente, produzir elevado rendimento de grãos é considerado como o principal mecanismo de tolerância ao calor.

Temperaturas diurnas elevadas podem ter efeitos diretos, aumentando a temperatura dos tecidos da planta, ou indiretos, associados com o déficit hídrico causado pela alta taxa de evapotranspiração (HALL, 2003). Temperaturas altas à noite causam redução na fotossíntese líquida, ocasionada pela alta taxa de respiração e no abortamento de flores e esterilidade do pólen em algumas espécies

(SOUZA; PIMENTEL; RIBEIRO, 2011). De acordo com Blum, Klueva e Nguyen (2001), a tolerância ao estresse por calor está associada à capacidade de genótipos em manter as taxas fotossintéticas estáveis sob altas temperaturas.

Os efeitos prejudiciais do calor variam em função do estágio de desenvolvimento da planta e duração de sua ocorrência, com reflexos na produção de grãos (SOUZA; PIMENTEL, 2013). Na germinação e emergência, altas temperaturas podem diminuir ou inibir a germinação, diminuindo o estande final da cultura (SOUZA; PIMENTEL; RIBEIRO, 2011). Após a emergência, altas temperaturas do solo prejudicam o potencial de crescimento de raízes e perfilhos (FISCHER, 1985). Ocorre também redução do ciclo total, mais acentuadamente na fase vegetativa. Acevedo, Nachit e Ferrara (1991), relatam redução de 50% na duração da fase vegetativa e na altura das plantas de trigo, além de cerca de 80% de diminuição da área foliar, quando a temperatura foi aumentada de 12,2°C para 27,5°C.

De acordo com Souza e Pimentel (2013), a maior sensibilidade da planta de trigo ocorre com o início da fase reprodutiva, com a diferenciação da gema apical do colmo em primórdios da espiga. A ocorrência de estresse nessa fase reduz o número de flores férteis por espiguetas e no número de grãos por espiga. Em estudo realizado por Warrington, Dunstone e Green (1977), plantas de trigo mantidas a 25°C durante a formação da espiga até a antese, produziram cerca de 30 grãos por espiga, enquanto que a 15°C foram obtidos 70 grãos por espiga. Segundo Farooq, Bramley e Palta (2011), o número de grãos por espiga é reduzido por conta da esterilidade das flores, pela ocorrência de calor durante a antese. Para Dolferus, Ji e Richards (2011), o período em que o trigo é mais sensível ao estresse por calor é o da antese e os cinco dias que a antecedem.

Temperaturas elevadas durante a fase de enchimento de grãos em trigo alteram a composição proteica e a razão amido/proteína, interferindo diretamente na qualidade da farinha (SOUZA; PIMENTEL; RIBEIRO, 2011). Um aumento de temperatura de 15/10°C diurno/noturno para 30/25°C diminuiu de 60 para 22 dias a duração da fase de enchimento de grãos, afetando também o peso de grãos (STRECK, 2005).

Considera-se por fim, que a redução na produção de grãos em situações de estresse térmico é devida a vários fatores, como: aceleração do desenvolvimento, senescência precoce, redução na fotossíntese, aumento da respiração e inibição da síntese de amido (SOUZA; PIMENTEL, 2013).

2.4.2. Estresse hídrico

Por definição, seca é um fenômeno multidimensional, que inclui não apenas a deficiência hídrica no solo, mas também a da atmosfera, que é fundamentalmente determinada pela umidade relativa e pela temperatura do ar (CAVATTE et al., 2011).

Em condições de disponibilidade hídrica reduzida, as plantas tendem a responder principalmente reduzindo a área foliar e fechando os estômatos, o que reduz a perda de água por transpiração, mas ao mesmo tempo impede a entrada de CO₂ para a fotossíntese, resultando em menor rendimento potencial (FORNASIERI FILHO, 2008). Em trigo, a redução da área foliar em resposta ao estresse hídrico afeta também o padrão de perfilhamento da planta, reduzindo o tamanho e o número de perfilhos quando ocorre antes da antese (LAWLOR et al., 1981) e causando a morte dos perfilhos quando acontece após a antese (MUSICK; DUSCK, 1980).

Cada cultura possui um estágio de desenvolvimento no qual a deficiência hídrica causa maior redução na produção. Em trigo, esse período é o estágio reprodutivo, do qual autores destacam diferentes subperíodos: Slatyer (1969) destacou três: iniciação floral até o desenvolvimento da inflorescência, antese e fertilização, e formação dos grãos; segundo Salter (1967), durante e imediatamente antes do espigamento, mais especificamente no período compreendido entre a meiose e liberação das tétrades nas anteras; de acordo com Fischer (1973), entre 15 dias antes e 5 dias após o espigamento; Cunha et al. (2016), dizem que o rendimento de grãos pode ser prejudicado especialmente a partir do emborrachamento, em decorrência da elevação da esterilidade de flores e do enchimento incompleto dos grãos.

O nível de deficiência hídrica que causa redução no crescimento difere entre e dentro de espécies, uma vez que cultivares apresentam também diferentes características de crescimento e desenvolvimento (RODRIGUES et al., 1998). Uma vez constatada variabilidade genética, deve-se obter cultivares adaptadas a tais

condições adversas de cultivo, sendo este um dos principais objetivos dos programas de melhoramento genético.

2.5. Melhoramento genético de trigo no Brasil

Em 1914, na cidade de Nova Tirol, no Paraná, o químico Jorge Polyssú selecionou diversas linhagens a partir de sementes provenientes de lavouras comerciais da região de Guaporé, Rio Grande do Sul, dando início à pesquisa de trigo no país. Tais linhas passaram a ser conhecidas como Linhas Polyssú e tiveram grande importância para o melhoramento genético de trigo no sul do Brasil. A partir dessas linhas, foi selecionada e lançada a cultivar PG1, cuja principal característica era a alta tolerância à toxicidade por alumínio (SCHEEREN et al., 2011).

Em 1919, foram criadas as primeiras estações experimentais para pesquisa de trigo: a Estação Experimental de Ponta Grossa, PR e a Estação Experimental Alfredo Chaves em Veranópolis, RS, onde foram realizadas seleções em germoplasma local, identificadas como “Linhas Alfredo Chaves” e também introdução de grande quantidade de germoplasma de vários lugares do mundo. Em 1925, Iwar Beckman realizou os primeiros cruzamentos artificiais de trigo do Brasil, na estação de Alfredo Chaves, passando depois para a Estação Experimental de São Luiz Gonzaga até 1929, quando foi transferido para a Estação Experimental da Fronteira, em Bagé, RS. Beckman desenvolveu numerosas variedades de ciclo precoce, destacando-se a Frontana, resultante do cruzamento das cultivares Fronteira e Mentana, que reuniu diversas características importantes para a época, como ciclo precoce, boa resistência ao crestamento e porte mais baixo (para os padrões da época), além de ser uma cultivar muito importante como fonte de resistência à germinação na espiga em pré-colheita e à ferrugem da folha do trigo (FORNASIERI FILHO, 2008; SCHEEREN et al., 2011).

Em 1938 houve a criação da Estação Experimental de Passo Fundo, RS. Em 1943, foi criado o Instituto Agrônomo do Sul – IAS, com sede em Pelotas, RS, incorporando as estações experimentais de Pelotas e Passo Fundo (RS), de Rio Caçador (SC) e as de Ponta Grossa e Curitiba (PR), onde várias cultivares foram desenvolvidas, com destaque para a cultivar IAS 20 – IASSUL (SCHEEREN et al., 2011).

Em Minas Gerais, na década de 1930, com a criação do Instituto Agrônomo de Belo Horizonte, foram desenvolvidas as cultivares Horto e BH 1146, descendentes do cruzamento Fronteira/Mendana//PG1. A BH 1146 é utilizada em cruzamentos ainda hoje, devido suas características de resistência à mancha foliar, tolerância aos estresses térmico e hídrico e ao crestamento (FORNASIERI FILHO, 2008; SCHEEREN et al., 2011).

No estado de São Paulo, as primeiras cultivares surgiram somente nos anos 1960, com o trabalho desenvolvido pelo Instituto Agrônomo de Campinas, sendo seu principal destaque a cultivar IAC 5 Maringá, com excelente comportamento agrônomo, ampla adaptação e tolerância a solos ácidos (SCHEEREN et al., 2011).

BH 1146 e IAC 5 Maringá representaram inestimável valor para os programas de melhoramento genético por participarem de cruzamentos que originaram diversas novas cultivares com características de precocidade, tolerância à toxicidade de alumínio, à deficiência de nutrientes, à seca e de ampla adaptação ambiental. Entretanto, em solos de alta fertilidade, frequentemente acamavam devido ao porte alto e à palha fraca, prejudicando a colheita mecânica, além do potencial produtivo limitado (FORNASIERI FILHO, 2008). As áreas com solos de alta fertilidade foram ocupadas por cultivares do Centro Internacional de Melhoramento de Milho e Trigo (CIMMYT), localizado no México e introduzidas no Brasil no início da década de 1970. O CIMMYT desenvolveu cultivares de trigo com porte baixo, alto potencial produtivo, resistência ao acamamento e maior índice de colheita, por meio da introdução de genes de nanismo do trigo japonês Norin 10 em genótipos tradicionais. Desde então, instituições de pesquisa que trabalham com melhoramento genético do trigo realizam cruzamentos envolvendo cultivares brasileiras e mexicanas (FORNASIERI FILHO, 2008).

Em 1973, foi fundada a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e em 1974 foi criado o Centro Nacional de Pesquisa de Trigo – CNPT, instalado na base física da Estação Experimental de Passo Fundo. Para complementar os trabalhos realizados em Passo Fundo, foram estabelecidos projetos de abrangência nacional, com atividades em Londrina/PR, Dourados/MS, Planaltina/DF e em outras unidades de pesquisa da Embrapa. O CNPT desenvolveu um grande número de cultivares com resistência às doenças e potencial de

rendimento de grãos, como CNT8, CNT10, BR14, BR15, BR 23, BRS 49, Embrapa 16 e Embrapa 27, BRS 179 e, BRS Guamirim (SCHEEREN et al., 2011).

Geralmente, os objetivos dos programas de melhoramento de trigo envolvem o incremento no rendimento de grãos; cultivares com perfil de qualidade de produto final estável; resistência/tolerância aos principais estresses bióticos e abióticos; bom ideótipo de planta (estatura baixa, precocidade, folhas curtas e eretas, resistência ao acamamento e boa capacidade de perfilhamento) (CAIERÃO et al., 2016).

O melhoramento de trigo para a região Central tem como objetivos: o aumento da produtividade, sempre considerada em primeiro plano na seleção de genótipos; qualidade, sendo selecionados grãos com boa sanidade desde as gerações mais precoces e realizados testes de tecnologia das farinhas nas etapas de estabelecimento de linhagens; resistência à brusone; tolerância à seca para trigo de sequeiro e tolerância ao calor para trigo de sequeiro e irrigado (MORESCO et al., 2013).

2.5.1. Melhoramento para estresses térmico e hídrico

Na década de 1960, o Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária do Centro-Oeste (Ipeaco), subordinado ao Ministério da Agricultura, conduziu experimentos de adaptação do trigo ao Cerrado. Nas décadas de 1970 e 1980, houve a introdução das cultivares INIA 66, Cocoraque e Anahuac 75 pelo CIMMYT, além do início do desenvolvimento de linhagens específicas para a seca e ao calor, com foco em cultivares resistentes a manchas foliares, com o lançamento das cultivares IAC 5 Maringá, BR 10, BR 12, BR 26, IAC 24 e IAC 289. Também na década de 1970 foi instalada a Rede Experimental de Trigo Irrigado, que na década de 2000 foi ampliada com cultivo de sequeiro. Foram lançadas, nos anos 1990, as cultivares Embrapa 22, Embrapa 41, Embrapa 42 e Aliança e nos anos 2000: BRS 207, BRS 254, BRS 264, MSG 3 Brilhante, UFV T1 Pioneiro, CD 11, CD 105, CD 108, CD116, CD 117, CD 118, CD 150, CD 151 e CD 154 (DE MORI; SÓ E SILVA, 2013).

Para Souza e Pimentel (2013), no melhoramento para tolerância à seca e ao calor, a seleção direta em condições de campo pode ser ineficiente por conta da inconsistência da ocorrência do calor; ocorrência de outros tipos de estresses

bióticos ou abióticos; variação da temperatura para uma mesma fase do desenvolvimento para genótipos com diferentes ciclos; o que pode comprometer o ganho com a seleção, sendo preferível, nessas condições, avaliar e quantificar a tolerância ao calor em ambientes controlados.

Esses ambientes apresentam como vantagem o isolamento do efeito do estresse a ser estudado dos demais fatores externos, além da manutenção constante da duração e intensidade do estresse aplicado. Entretanto, não possibilita a ação da seleção natural para outros fatores que interagem com os mecanismos de tolerância em condições de campo (SOUZA; PIMENTEL, 2013).

O manejo do estresse é ponto crucial para o êxito de programas de melhoramento para condições de estresse abiótico. No caso do estresse hídrico, se a indução do estresse for acentuada, pode ser que a planta não complete seu ciclo de vida ou, ainda, não produza grãos em quantidades razoáveis para se distinguir os genótipos (SILVA et al., 2011).

Para o estabelecimento de um manejo de estresse adequado, Bänziger et al. (2000), citam três fatores a serem considerados: a) a duração do estresse deve ser tal que coincida com os estádios críticos de desenvolvimento da planta, e envolva caracteres que possam ser modificados pelo melhoramento genético; b) a intensidade deve ser severa o suficiente para afetar os caracteres importantes de produtividade, ou seja, permitir a diferenciação no germoplasma quando as plantas são submetidas às condições ótimas e estressantes; c) uniformidade, de forma que a variância genética seja facilmente observada e os ganhos genéticos, possíveis.

2.6. Análises estatísticas

2.6.1. Análise de correlações genéticas e fenotípicas

A correlação é um parâmetro estatístico que mede o grau de associação entre duas características: elas estarão correlacionadas quando a variação em uma delas é acompanhada por variação simultânea na outra. A correlação genética é explicada pela presença de pleiotropia ou ligação, e a correlação fenotípica é governada por componentes genéticos e ambientais (RAMALHO et al., 2012).

O conhecimento das correlações genéticas é empregado em inúmeros casos, por exemplo, na seleção indireta. A seleção indireta é aquela praticada em determinada característica para se ter ganho em outra, associada a primeira (RAMALHO et al., 2012). A produtividade de grãos, por exemplo, é uma característica complexa, que resulta da associação de diferentes componentes, que são considerados pelo melhorista no processo de seleção de novos genótipos.

Para que a seleção seja eficiente, são necessárias informações sobre a natureza e a magnitude das variações fenotípicas, além das correlações de outras características agrônômicas com a produtividade, e até mesmo entre elas, bem como a extensão da influência do ambiente na expressão das características estudadas (GOMES et al., 2007).

2.6.2. Análise multivariada

A análise multivariada refere-se às técnicas estatísticas que analisam simultaneamente múltiplas características sobre indivíduos ou objetos. As variáveis devem ser aleatórias e inter-relacionadas de tal forma que seus efeitos não podem ser significativamente interpretados em separado (HAIR et al., 2009). A grande vantagem de analisar simultaneamente as informações de todas as variáveis respostas, está na interpretação do conjunto de dados, levando em conta as correlações existentes entre elas (SARTORIO, 2008).

Os métodos multivariados podem ser classificados quanto a relação das suas variáveis em dependentes ou interdependentes. A técnica de interdependência envolve a análise simultânea de todas as variáveis no conjunto, sem definir se a variável é independente ou dependente. Exemplos dessa técnica são análise de agrupamentos, análise de componentes principais, análises de correspondência e análise fatorial (HAIR et al., 2009).

2.6.2.1. Análise de componentes principais

Dentre os métodos multivariados, destaca-se a análise de componentes principais, cujo principal objetivo é simplificar a descrição de um conjunto de variáveis inter-relacionadas (FERREIRA, 2011) por meio da estrutura de variâncias e covariâncias de uma matriz composta por p variáveis (JOHNSON; WICHERN, 2002).

A análise consiste em transformar um conjunto original de variáveis em outro de dimensão menor ou equivalente, mantendo o máximo da informação em um menor número de componentes. Onde cada componente principal é uma combinação linear das variáveis originais, independentes entre si e estimados com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo da informação em termos de variância total contida nos dados originais (CRUZ; FERREIRA; PESSONI, 2011). Segundo Ferraudo (2010) a variância é a medida que quantifica a informação explicada por cada componente principal.

A importância relativa de um componente é avaliada pela percentagem da variância total que ele explica. O primeiro autovalor a ser determinado corresponderá a maior porcentagem da variabilidade total presente e assim sucessivamente. Já, os autovetores são os resultados da participação das variáveis originais em cada componente, que ditam a importância relativa de cada variável juntamente com seus respectivos sinais, positivos ou negativos, indicando a relação direta ou inversamente proporcional em relação aos componentes principais (MUNIZ et al., 2014).

É uma técnica estatística exploratória muito utilizada na compreensão e inter-relacionamento entre as variáveis originais (FERRAUDO, 2010). Em trigo, já foi utilizada para estimar a capacidade de combinação de genótipos (BENIN et al., 2009), bem como na avaliação do efeito de variáveis meteorológicas na qualidade industrial e no rendimento de grãos (GUARIENTI et al., 2003).

2.6.2.2. Análise de agrupamento

A análise de agrupamento tem como finalidade principal agregar objetos com base nas características que estes possuem, classificando-os de modo que cada objeto é semelhante aos outros no agrupamento. Os agrupamentos resultantes devem exibir elevada homogeneidade dentro dos grupos e elevada heterogeneidade entre os grupos (HAIR et al., 2009).

Existem inúmeros métodos de agrupamento, que se distinguem pelo tipo de resultado a ser fornecido e pelas diferentes formas de definir a proximidade entre os indivíduos diante a formação de um grupo ou entre dois grupos quaisquer (CRUZ; CARNEIRO; REGAZZI, 2014). Dentre os métodos destacam-se os métodos

hierárquico e os não-hierárquico. O método hierárquico pode ser executado pelo método de aglomeração e divisão. Os resultados de ambos os procedimentos hierárquicos podem ser dispostos em um diagrama de duas dimensões conhecido como dendrograma, nos quais os objetos são agrupados de acordo com suas similaridades. O método não-hierárquico difere do hierárquico na quantidade de classes formadas, a qual é determinada antes da realização da análise, com o objetivo de minimizar a variabilidade dentro do conjunto e maximizar a variabilidade entre os conjuntos (PITTA et al., 2010).

Os métodos hierárquicos mais utilizados são os de ligação simples, ligação completa, método não ponderado de agrupamento aos pares (UPGMA), método de Ward, dentre outros. O método de Ward, também chamado de mínima variância, fundamenta-se no princípio de que, inicialmente, cada elemento é considerado como um único conglomerado. Em cada passo do algoritmo de agrupamento calcula-se a soma de quadrados dentro de cada aglomerado. Esta soma é o quadrado da distância Euclidiana de cada elemento amostral pertencente ao conglomerado em relação ao correspondente vetor de médias do aglomerado. Em cada passo do algoritmo de agrupamento, os dois conglomerados que minimizam a distância, são combinados, gerando um dendrograma com diferentes grupo (HAIR et al., 2009).

Um método não-hierárquico bastante utilizado é o “K-means” (k-médias), que classifica objetos em número predefinido de grupos. A medida de similaridade usada entre os vetores de médias dos grupos pode levar a diferentes formações quanto à composição e ao número de objetos dentro de cada grupo. Assim, a escolha dessa medida deve observar critérios, sendo a distância euclidiana um dos mais utilizados, por ser uma métrica completa (HAIR et al., 2009). O método “K-means” consiste de um procedimento onde, dado um número de “clusters”, calcula-se pontos que representam os centros destes “clusters”. O centróide pode ser a média ou a mediana de um grupo de pontos. Em outras palavras, o objetivo do método “K-means” é minimizar a distância entre cada ponto e o seu respectivo centróide (HAIR et al., 2005).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material genético

O presente estudo foi realizado em parceria com o Núcleo Avançado de Pesquisa de Trigo Tropical, criado pela Embrapa Trigo e situado em Uberaba – MG. As cultivares de trigo utilizadas neste estudo foram cedidas pelo Banco do Germoplasma da Embrapa Trigo e têm diferentes indicações de regiões de cultivo (Tabela 1).

Tabela 1. Relação das 30 cultivares de trigo avaliadas nos experimentos em casa de vegetação, suas respectivas genealogias e indicações de cultivo. FCAV/UNESP Jaboticabal, 2018.

Nº	Genótipo	Genealogia ¹	Indicação ²
1	Anahuac 75	II 12300//LERMA ROJO 64/SIETE CERROS/3/NORTENO 67	MS/SP/PR
2	BH 1146	PG 1//FRONTEIRA/MENTANA	4SP/4MS/GO/DF/MG/BA
3	BR 18 Terena	D6301/NAINARI60//WEIQUE REDMACE/3/CIANO*2/CHR	4SP/4MS/GO/DF/MG/BA
4	BR 24	IAS 58*2/EAGLE	4SP/4MS/GO/DF/MG/BA
5	BRS 208	CPAC89118/3/BR23//CEP19/PF85490	2SP/3MS
6	BRS 210	CPAC 89119/3/BR 23//CEP 19/PF 85490	4SP/4MS/GO/DF/MG/BA
7	BRS 220	EMB16/TB108	2SP/3MS
8	BRS 229	EMBRAPA 27*3//BR 35/BUCK PONCHO	3MS/PR
9	BRS 327	CEP24SEL/BRS194	SP/MS
10	BRS 49	BR 35/PF 83619//PF 858/PF 8550	4SP/4MS/GO/DF/MG/BA
11	BRS Gralha Azul	BRS 209//BRS CAMBOATÁ/LR 37	3MS/3PR
12	BRS Guabijú	PF 86743/BR 23	3SP/3MS
13	BRS Guamirim	EMB27/BUCK NANDU//PF85490	4SP/3MS
14	CD 117	PF 87373/OC 938	4SP/4MS/GO/DF/MG/BA
15	CD 150	CD 104/CD 108	4SP/4MS/GO/DF/MG/BA
16	CD 151	BRS 120/ORL 95282	4SP/4MS/GO/DF/MG/BA
17	CD 154	BRS 120/ORL 95282	4SP/4MS/GO/DF/MG/BA
18	Embrapa 21	PAT 10/ALONDRA SIB//VEERY 5	4SP/4MS/GO/DF/MG/BA
19	IAC 350	2109-36/SERI 82	4SP/4MS/GO/DF/MG/BA
20	IAC 5 Maringá	FRONTANA/KENYA 58//PG 1	SP/PR/MG
21	IAC 24 Tucuruí	IAS 51/4/SON 64/YAQUI 50E/GB/2*CIANO	4SP/4MS/GO/DF/MG/BA
22	IPR 144	SERI*3/BUC/5/BOW/3/CAR 853/COC//VEE/ 4/OC 22	23SP/3MS
23	IPR 85	IAPAR 30/BR 18	4SP/3MS
24	IPR Catuara TM	LD 975/IPR 85	23SP/3MS
25	MGS Aliança	PF858/OCEPAR14	4SP/4MS/GO/DF/MG/BA
26	Quartzo	ONIX/AVANTE	PR
27	Supera	PF-9099/OR-1	4SP/4MS/GO/DF/MG/BA
28	TBIO Sinuelo	Quartzo/3/Fundacep30/Ônix//Pampeano/4/Quartzo	23PR
29	Topázio	Pampeano 'S'/Abalone	1RS/1SC/1PR
30	UFVT1 Pioneiro	VEERY 5/NACUZARI	4SP/4MS/GO/DF/MG/BA

¹ Simbologia: / cruzamento simples; // cruzamento duplo; * retrocruzamento. ² Os códigos na coluna Indicação podem ser verificados no mapa da Figura 2.

3.2. Condições experimentais

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação, a 21° 14' 32.8" de latitude sul, 48° 17' 56.6" de longitude oeste e 595 m de altitude; as avaliações pós-colheita foram realizadas no Laboratório de Biotecnologia Aplicada ao Melhoramento de Plantas, ambos localizados no Departamento de Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista – Unesp, Câmpus de Jaboticabal.

As cultivares foram avaliadas em quatro tratamentos, em delineamento em blocos casualizados, com cinco repetições em cada um dos quatro ambientes. Em cada ambiente, os 30 genótipos totalizaram 150 unidades experimentais (vasos). Os vasos possuíam capacidade para 4 litros de substrato: terra e vermiculita na proporção de 3:1. A adubação foi realizada com NPK de fórmula 04-20-20 misturado ao substrato antes da semeadura e N em cobertura no início do perfilhamento. Oito sementes de trigo foram semeadas por vaso à uma profundidade de 2 cm e, dez dias após a emergência foi realizado o desbaste, deixando as quatro plântulas mais vigorosas por vaso, que constituíram a parcela experimental.

A casa de vegetação utilizada dispõe de compartimentos com controle independente de temperatura, os quais são controlados por um painel digital no qual é possível estabelecer uma temperatura mínima e máxima em cada um dos compartimentos. A iluminação foi fornecida por meio de lâmpadas refletoras incandescentes e fluorescentes de 60w e 220v, alternadas. A irrigação foi realizada por gotejamento, respeitando a capacidade de campo em cada vaso. Os ambientes aos quais as cultivares foram avaliadas diferiram quanto às condições de temperatura e irrigação, submetendo os genótipos ao estresse térmico, estresse hídrico, estresse térmico e hídrico simultaneamente e em ambiente ótimo, como detalhado a seguir:

-Controle: ambiente favorável, com controle da temperatura e irrigação durante todo o ciclo. Temperatura ajustada entre 15°C e 25°C e irrigação mantida até o ponto de maturidade fisiológica das sementes (estádio 8.9 na escala de Zadoks) (ZADOKS; CHANG; KONZAK, 1974).

-Seca (estresse hídrico): temperatura entre 15°C e 25°C mantida até a maturidade fisiológica das sementes, e aplicação do estresse hídrico mediante a

suspensão da irrigação a partir do período de emborrachamento até o final da antese (estádios 4.5 e 6.9 na escala de Zadoks, respectivamente).

-Calor (estresse térmico): ambiente desfavorável por estresse térmico mediante controle de temperatura entre 25°C e 35°C do período de emborrachamento até o final da antese. Irrigação mantida até a maturidade fisiológica das sementes

-Seca + Calor (estresses hídrico e térmico): ambiente desfavorável por combinação do estresse térmico mediante controle de temperatura entre 25°C e 35°C e do estresse hídrico por suspensão da irrigação, ambos do período de emborrachamento até o final da antese.

Os experimentos Controle e Seca foram conduzidos simultaneamente, em compartimentos diferentes da casa de vegetação, com plantio em abril de 2015. O experimento Seca + Calor foi plantado em dezembro de 2015 e o ambiente Calor foi estabelecido em abril de 2016 (Figura 3).

Para a aplicação do estresse hídrico nos ambientes Seca e Seca + Calor, assim que cada parcela atingiu 50% de plantas em emborrachamento, a mangueira da irrigação por gotejamento foi retirada do vaso e recolocada somente no final da antese. Por sua vez, para a aplicação do estresse térmico nos ambientes Calor e Seca + Calor, foi necessária a utilização de dois compartimentos da casa de vegetação em ambos experimentos. Primeiro, os experimentos foram estabelecidos em um compartimento com temperatura de 15 a 25°C e, quando cada parcela atingiu 50% de plantas em emborrachamento, o vaso foi transferido para outro compartimento com temperatura de 25 a 35°C, retornando ao compartimento de menor temperatura ao fim da antese.



Figura 3. Casa de vegetação onde os experimentos de avaliação de cultivares de trigo foram conduzidos (a); detalhe do plantio (b); visão geral do experimento após o plantio (c); plantas aos dez dias após a emergência, quando houve o desbaste (d).

3.3. Avaliações

Os dados foram obtidos a partir da avaliação das quatro plantas individuais em cada vaso, referentes aos seguintes caracteres:

Dias até o emborrachamento (DEM): número de dias em que cada parcela apresentou 50% de plantas emborrachadas, ou seja, 50% de plantas no estágio 4 da escala de Zadoks (Figura 4A).

Dias até o espigamento (DES): número de dias em que cada parcela apresentou 50% de plantas espigadas, ou seja, 50% de plantas no estágio 5 da escala de Zadoks (Figura 4B).

Dias até a antese (DAN): número de dias em que cada vaso apresentou 50% de plantas florescendo (com presença de pólen visível), ou seja, 50% de plantas no estágio 6 da escala de Zadoks (Figura 4C).

Ciclo (CIC): número de dias em que 50% das plantas da parcela apresentaram grãos duros ou muito duros (estádio 8/9 da escala de Zadoks).

Altura (ALT): durante a maturação fisiológica foi tomada a altura de cada planta da parcela e então determinada a média da parcela (cm).



Figura 4. Estágios de (A) emborrachamento, (B) espigamento e (C) antese, da planta de trigo.

Os componentes de produção avaliados foram:

Número médio de espigas/planta (NEP): Durante a maturação fisiológica foram contadas as espigas presentes em cada vaso. A partir deste dado, foi estimado o número médio de espigas por planta, através da divisão do valor obtido pelo número total de plantas da parcela.

Tamanho médio de espigas (TME): Após a maturação completa das plantas, as espigas de cada parcela foram retiradas com tesoura e medidas no sentido do comprimento com uma régua. O valor da somatória foi dividido pelo número de espigas da parcela (cm).

Peso médio de espigas (PME): Peso em gramas de todas as espigas da parcela dividido pelo número total de espigas desta mesma parcela (g).

Número médio de espiguetas/espiga (NEE): Somatória do número de espiguetas de cada espiga da parcela, dividido pelo número de espigas.

Porcentagem de espiguetas férteis (%EF): As espigas retiradas de cada parcela foram avaliadas quanto ao número de espiguetas cheias (férteis) e vazias (inférteis).

Realizadas essas avaliações, todas as espigas foram debulhadas manualmente e então foram obtidos:

Número de grãos/espiga (NGE): Contagem do número de grãos totais de cada vaso dividido pelo número de espigas colhidas.

Peso de grãos/espiga (PGE): Peso em gramas de todos os grãos colhidos na parcela, dividido pelo número de espigas colhidas (g).

3.4. Análises estatísticas

Foram realizadas análises de variância por ambiente e conjunta para as características avaliadas, por meio do “software” SAS® 9.3 (2011). Para as fontes de variação significativas pelo teste F, foi utilizado o teste de médias de Scott-Knott (Scott; Knott, 1974), que possui a vantagem de separar as médias em grupos discretos, sem sobreposição entre os grupos, sendo o mesmo utilizado à 5% de probabilidade, com o auxílio do programa Assistat, versão 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2016). Foram calculadas também, correlações genéticas e fenotípicas pelo “software” Genes, versão 2013.5.1 (CRUZ, 2001).

Foram feitas também análises multivariadas, onde os dados foram padronizados de forma que os atributos contribuam com o mesmo peso no cálculo do coeficiente de semelhança entre os objetos, resultando em média nula e variância unitária para todas as características (FERRAUDO, 2010). Foi realizada a análise de componentes principais (PCA) e análises de agrupamento, por método hierárquico, onde a semelhança entre os genótipos foi medida pela distância Euclidiana e a ligação média entre os grupos foi realizada pelo método de Ward, e pelo método não hierárquico “K-means”. Estas análises foram efetuadas por meio do “software” Statistica versão 7 (STATSOFT, 2004).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análises de variância

Uma visão geral de cada experimento no estágio de espigamento pode ser observada na Figura 5.

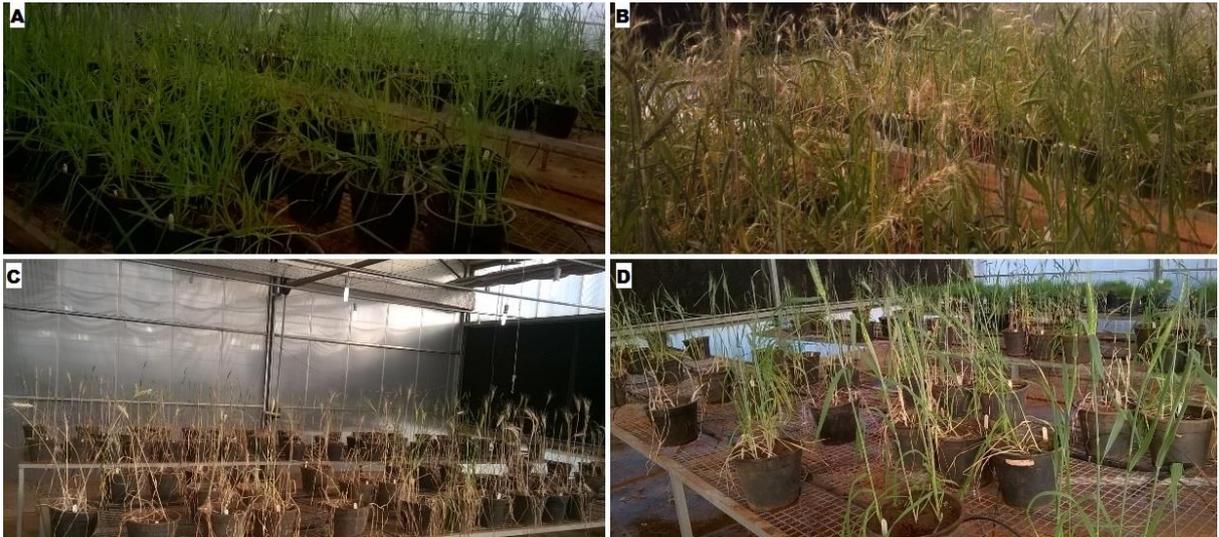


Figura 5. Visão geral dos ambientes a) controle; b) seca (estresse hídrico); c) seca+calor (estresses hídrico e térmico) e d) calor (estresse térmico), durante a fase de espigamento, nos experimentos de avaliação de cultivares de trigo.

Na Tabela 2, as análises de variância individuais indicaram que houve diferença significativa entre as cultivares para todos os caracteres avaliados, tanto no ambiente Controle como no ambiente Calor. No ambiente Seca+Calor, a característica NEP não apresentou diferença significativa entre as cultivares, assim como as características PME e PGE no ambiente Seca. Entretanto, em ambientes de deficiência hídrica é comum que se utilizem caracteres secundários de produção para auxiliar na seleção de genótipos mais produtivos ou eficientes no uso da água, uma vez que a seleção por esses caracteres resulta em maiores ganhos em produtividade do que quando realizada por peso de grãos em si (BÄNZINGER et al., 2000).

Notou-se também, efeito significativo de blocos em todos os ambientes, justificando o delineamento utilizado, apesar dos experimentos terem sido conduzidos em ambiente controlado (Tabela 2). A experimentação em blocos se faz necessária mesmo em casa de vegetação devido à formação de microclimas: diferenças de umidade, incidência solar, quantidade de vento, entre as bancadas de um mesmo compartimento.

Tabela 2. Quadrados médios das análises de variância individuais e conjunta, médias e coeficientes de variação (CV%), para as características: dias para o emborrachamento (DEM), dias para o espigamento (DES), dias para a antese (DAN), ciclo (CIC), altura das plantas (ALT), número de espigas por planta (NEP), peso médio de espigas (PME), peso de grãos por espiga (PGE), tamanho médio de espigas (TME), número de espiguetas por espiga (NEE), número de grãos por espiga (NGE) e porcentagem de espiguetas férteis (%EF) avaliadas em experimentos de desempenho de cultivares de trigo.

Análise de variância - Por ambiente												
	DEM (dias)	DES (dias)	DAN (dias)	CIC (dias)	ALT(cm)	NEP (nº)	PME (g)	PGE (g)	TME (cm)	NEE (nº)	NGE (nº)	%EF (%)
Controle												
Cultivar	194,88**	214,48**	261,82**	220,44**	696,50**	1,92**	0,10**	0,05**	2,69**	11,99**	41,88**	316,07**
Bloco	54,46**	64,49**	80,74**	60,58**	277,35**	1,50*	0,04ns	0,02ns	3,07**	10,54**	15,48ns	50,10ns
Média	48,17	52,11	55,88	88,83	76,73	2,22	0,75	0,56	6,17	11,90	18,25	78,83
CV%	6,68	6,02	6,31	4,46	9,03	30,09	22,59	24,38	10,26	12,16	23,15	11,40
Calor (estresse térmico)												
Cultivar	255,00**	184,85**	166,45**	106,72**	366,38**	1,99**	0,19**	0,09**	5,48**	26,8**	121,92**	349,54**
Bloco	238,09**	133,41**	114,19**	59,19**	145,72*	0,37ns	0,16**	0,10*	1,74*	5,34ns	121,91*	421,33ns
Média	51,58	54,89	57,72	81,53	67,77	1,77	0,69	0,44	6,77	14,03	21,17	76,38
CV%	15,14	7,63	7,05	4,64	10,05	28,82	30,65	38,89	10,89	11,05	33,00	17,20
Seca (estresse hídrico)												
Cultivar	216,61**	266,18**	262,49**	358,30**	410,99**	1,24**	0,04ns	0,03ns	3,53**	11,21**	62,20**	748,28**
Bloco	100,76ns	44,35ns	40,13ns	74,04ns	216,97**	1,74**	0,04ns	0,03ns	1,69**	5,28*	68,30ns	471,94ns
Média	47,91	52,21	56,33	80,20	72,86	1,62	0,50	0,29	6,67	12,83	17,12	67,98
CV%	15,71	9,15	9,25	10,24	10,77	39,34	34,00	52,31	10,32	11,41	32,44	23,58
Seca + Calor (estresses hídrico e térmico)												
Cultivar	713,91**	678,91**	642,03**	470,82**	229,62**	0,09ns	0,02**	0,01**	2,14**	9,22**	72,91**	1586,36**
Bloco	25,54ns	38,24ns	49,57*	19,66ns	87,34ns	0,15ns	0,01ns	0,01ns	0,72ns	4,11ns	32,00ns	533,25ns
Média	50,03	54,37	58,25	68,67	50,10	1,08	0,26	0,08	6,22	11,92	8,15	40,33
CV%	8,96	8,10	7,49	6,51	12,65	23,22	31,74	74,48	10,10	12,38	65,32	53,79
Fonte de variação	Análise de variância – Conjunta											
Cultivar	569,06**	626,36**	637,06**	582,02**	1315,07**	3,96**	0,23**	0,10**	9,87**	38,36**	113,24**	764,46**
Ambiente	430,22**	365,88**	134,80**	3218,02**	2997,62**	14,33**	2,44**	2,67**	15,44**	169,16**	643,86**	4826,94**
Bloco	44,99ns	64,53**	58,50*	145,17**	129,06ns	0,40ns	0,32ns	0,27ns	1,39ns	3,30ns	15,46ns	113,02ns
Cult. x Ambiente	48,72ns	20,51ns	27,86ns	50,49*	74,81ns	0,59*	0,05*	0,04*	0,92**	5,84**	57,21**	324,58**
Média	48,78	53,02	56,60	83,48	72,47	1,87	0,65	0,43	6,54	12,93	18,88	74,43
CV%	13,70	8,19	8,03	6,93	10,46	33,78	29,14	36,43	11,13	11,93	30,80	17,76

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; ns não significativo pelo teste F.

A análise de variância conjunta (Tabela 2) indicou que houve interação cultivar x ambiente (G x A) em oito (CIC, NEP, PME, PGE, TME, NEE, NGE e %EF) das doze características avaliadas. As demais (DEM, DES, DAN e ALT) não apresentaram interação, ou seja, as cultivares não tiveram comportamento diferenciado para cada ambiente, relacionadas a estas características. A análise de variância conjunta foi realizada somente com os ambientes Controle, Calor e Seca, uma vez que observou-se relevante porcentagem de perda na média dos caracteres, quando comparado o ambiente Seca+Calor com os demais (Tabela 3). Existindo a possibilidade de tais perdas serem devidas não somente aos estresses aplicados, mas também ao fato do experimento ter sido conduzido no verão enquanto os demais foram cultivados no inverno, optou-se pela não utilização dos dados deste ambiente para a análise conjunta.

Tabela 3. Médias de 30 cultivares de trigo para características avaliadas em todos os ambientes e porcentagem de perda das características no ambiente Seca+Calor (estresses hídrico e térmico) em comparação com os demais.

	DEM (dias)	DES (dias)	DAN (dias)	CIC (dias)	ALT (cm)	NEP (nº)	PME (g)	PGE (g)	TME (cm)	NEE (nº)	NGE (nº)	%EF (%)
Controle	48,17	52,113	55,88	88,83	76,73	2,22	0,75	0,56	6,17	11,90	18,25	78,83
Calor	51,58	54,89	57,72	81,53	67,77	1,77	0,69	0,44	6,77	14,03	21,17	76,38
Seca	47,91	52,21	56,33	80,20	72,85	1,62	0,50	0,29	6,67	12,83	17,12	67,98
Seca+Calor	50,03	54,37	58,25	68,67	50,1	1,08	0,26	0,08	6,22	11,92	8,15	40,33
% Perda - Controle	3,85	4,33	4,24	-22,70	-34,71	-51,35	-65,33	-85,71	0,83	0,16	-55,34	-48,84
% Perda - Calor	-3,01	-0,95	0,92	-15,77	-26,07	-38,98	-62,32	-81,82	-8,13	-15,05	-61,50	-47,20
% Perda - Seca	4,42	4,14	3,40	-14,38	-31,24	-33,33	-48,00	-72,41	-6,73	-7,11	-52,39	-40,67

Dias para o emborrachamento (DEM), dias para o espigamento (DES), dias para a antese (DAN), ciclo (CIC), altura das plantas (ALT), número de espigas por planta (NEP), peso médio de espigas (PME), peso de grãos por espiga (PGE), tamanho médio de espigas (TME), número de espiguetas por espiga (NEE), número de grãos por espiga (NGE) e porcentagem de espiguetas férteis (%EF).

As maiores médias apresentadas para as características PME e PGE no ambiente Seca+Calor, foram obtidas pela cultivar Embrapa 21 (Tabela 4) e são comparáveis às menores médias para as mesmas características nos outros ambientes. Vale destacar também o desempenho da cultivar Quartzo para as características %EF e NGE. A cultivar IAC 5 Maringá foi a que apresentou piores médias nesse ambiente.

Durante a aplicação do estresse térmico e hídrico entre a fase de emborrachamento e final da antese, irrigações de emergência tiveram de ser

efetuadas para salvamento de algumas parcelas, ainda assim, as cultivares BRS 220 e IAC 5 Maringá sofreram a perda de uma parcela cada. A cultivar BRS 327 apresentou duas parcelas que não entraram em estágio reprodutivo no ambiente Seca+Calor, assim como no ambiente Calor, e uma parcela no ambiente Seca.

Tabela 4. Médias das cultivares de trigo no ambiente Seca+Calor (estresses hídrico e térmico) para todas as características avaliadas.

	DEM (dias)	DES (dias)	DAN (dias)	CIC (dias)	ALT (cm)	NEP (nº)	PME (g)	PGE (g)	TME (cm)	NEE (nº)	%EF (%)	NGE (nº)
Anahuac 75	42,00	45,80	49,20	61,60	53,44	1,12	0,31	0,08	7,66	13,00	43,42	9,12
BH 1146	63,25	65,50	70,25	80,50	61,33	0,92	0,20	0,07	5,92	12,90	47,58	10,13
BR 18 Terena	39,80	44,00	49,80	62,00	48,94	1,10	0,35	0,13	6,26	11,86	52,08	10,32
BR 24	75,60	79,00	83,00	92,20	56,82	1,00	0,25	0,08	5,58	13,50	24,26	5,44
BRS 208	46,40	51,80	56,60	67,20	47,60	1,00	0,26	0,04	6,25	11,30	25,66	5,52
BRS 210	43,40	48,20	52,40	65,00	40,80	1,07	0,25	0,05	6,79	11,42	24,68	4,68
BRS 220	50,20	57,40	60,60	68,00	42,28	0,88	0,21	0,01	6,06	11,66	16,70	2,58
BRS 229	64,00	67,80	70,40	77,20	44,14	1,07	0,16	0,04	5,14	10,18	43,46	6,76
BRS 327	69,33	72,67	75,67	87,33	51,27	1,33	0,20	0,09	5,37	9,00	49,97	8,00
BRS 49	38,20	43,60	49,80	60,60	48,20	1,00	0,26	0,06	5,58	10,82	25,88	4,32
BRS Gralha Azul	55,20	59,40	62,20	73,60	52,58	1,05	0,33	0,10	7,45	14,14	58,96	13,42
BRS Guabijú	46,00	50,60	53,20	64,20	52,76	1,22	0,22	0,04	6,46	12,32	27,72	5,50
BRS Guamirim	54,40	58,00	61,20	71,20	45,56	1,22	0,20	0,01	6,57	14,72	4,52	0,74
CD 117	54,80	60,40	63,80	70,60	51,52	1,13	0,19	0,03	5,60	11,30	37,68	6,76
CD 150	35,80	38,60	40,60	55,80	37,18	1,00	0,23	0,09	5,72	11,72	49,36	9,78
CD 151	61,60	65,00	68,40	76,20	48,20	1,05	0,25	0,06	6,58	13,20	49,20	10,62
CD 154	40,40	44,40	50,80	63,00	43,62	1,00	0,28	0,04	7,12	12,38	19,52	4,26
Embrapa 21	33,80	37,60	40,60	54,60	47,38	1,00	0,40	0,21	5,24	10,02	63,38	13,00
IAC 350	39,00	43,60	50,40	62,60	53,54	1,00	0,39	0,16	6,48	12,68	52,50	11,36
IAC 5 Maringá	77,25	81,25	85,25	87,00	71,98	1,08	0,15	0,01	5,43	11,50	2,58	0,75
IAC 24 Tucuruí	59,60	65,00	68,20	75,00	44,76	1,00	0,32	0,08	5,93	13,60	16,42	3,10
IPR 144	42,80	46,80	50,80	60,80	50,12	1,00	0,27	0,05	7,06	12,42	29,76	7,88
IPR 85	36,80	40,40	47,00	58,80	47,30	1,00	0,39	0,20	7,17	11,12	66,42	13,40
IPR Catuara TM	32,00	42,80	46,80	57,40	39,50	1,10	0,20	0,09	5,95	9,56	43,72	7,28
MGS Aliança	55,80	61,80	64,60	72,40	60,60	0,93	0,31	0,10	6,47	14,50	43,98	11,86
Quartzo	42,20	44,60	46,80	57,00	54,72	1,40	0,26	0,12	6,10	11,50	70,36	15,30
Supera	36,75	40,00	44,75	57,50	51,38	1,50	0,25	0,11	6,17	10,63	49,80	9,15
TBIO Sinuelo	45,60	49,60	52,20	63,80	46,90	1,00	0,20	0,06	6,21	11,72	55,98	11,74
Topázio	58,80	62,00	65,20	78,20	52,10	1,30	0,20	0,07	5,53	10,52	62,62	10,68
UFVT1 Pioneiro	60,20	63,60	67,00	78,80	56,60	1,00	0,22	0,08	6,70	12,46	51,88	11,18
Médias	50,03	54,37	58,25	68,67	50,10	1,08	0,26	0,08	6,22	11,92	40,33	8,15

Dias para o emborrachamento (DEM), dias para o espigamento (DES), dias para a antese (DAN), ciclo (CIC), altura das plantas (ALT), número de espigas por planta (NEP), peso médio de espigas (PME), peso de grãos por espiga (PGE), tamanho médio de espigas (TME), número de espiguetas por espiga (NEE), porcentagem de espiguetas férteis (%EF) e número de grãos por espiga (NGE).

Foi observada também uma heterogeneidade na duração das fases de desenvolvimento no ambiente Seca+Calor, não só entre repetições da mesma cultivar, como entre as plantas de uma mesma parcela. Foi verificado casos em que dentro da parcela encontravam-se plantas em vários estádios do desenvolvimento: vegetando, entrando em fase de alongamento do colmo, em emborrachamento ou com espiga emergida, como pode ser verificado na Figura 6, por meio da indicação das setas em vermelho.



Figura 6. Parcelas que apresentaram desenvolvimento fenológico desuniforme entre as plantas de trigo no experimento de avaliação de cultivares no ambiente Seca+Calor (estresses hídrico e térmico).

Na Tabela 5 encontra-se o teste de Scott-Knott para as características que não apresentaram interação G x A na análise conjunta, onde pode-se verificar que para os caracteres DEM, DES e DAN, as cultivares BR 24, IAC 5 Maringá e UFVT1 Pioneiro apresentaram as maiores médias, ou seja, apresentaram estágio vegetativo mais longo que as demais cultivares, enquanto CD 150, Embrapa 21 e IPR Catuara TM entraram mais rapidamente no estágio reprodutivo (Tabela 5). Na quantidade de dias para atingir a antese (DAN), as cultivares BRS 49, IPR 85 e Supera também integraram o grupo das cultivares mais precoces. Para a característica ALT, a

cultivar com maior média foi IAC 5 Maringá, apresentando plantas superiores a 1m, o que pode ser considerado uma desvantagem se o intuito é o cultivo de trigo irrigado, pois em áreas irrigadas por aspersão é necessário que o genótipo apresente porte semi-anão, pois as cultivares de porte alto são passíveis de acamamento (FORNASIERI FILHO, 2008). Aplicando-se o teste de Scott-Knott, obteve-se um grupo formado por 16 cultivares que apresentaram as menores alturas (Tabela 5).

Tabela 5. Teste de Scott-Knott para as médias das características que não apresentaram interação G x A nos experimentos de desempenho de cultivares de trigo sob estresses térmico e hídrico.

Cultivar	DEM (dias)	DES (dias)	DAN (dias)	ALT (cm)
Anahuac 75	43,73 e	48,53 d	52,80 d	68,57 e
BH 1146	54,00 c	57,40 c	60,13 c	92,39 b
BR 18 Terena	46,93 d	50,00 d	53,80 d	73,23 d
BR 24	63,67 a	68,00 a	72,87 a	87,83 b
BRS 208	47,60 d	51,93 d	56,13 d	70,25 e
BRS 210	42,93 e	47,87 e	53,67 d	62,93 e
BRS 220	55,80 b	59,80 b	63,67 b	68,31 e
BRS 229	53,07 c	56,40 c	59,20 c	71,41 d
BRS 327	56,86 b	60,40 b	63,38 b	78,55 c
BRS 49	43,60 e	47,13 e	50,33 e	66,27 e
BRS Gralha Azul	47,73 d	51,27 d	54,33 d	70,79 d
BRS Guabijú	45,80 d	49,40 d	52,87 d	74,03 d
BRS Guamirim	49,80 d	53,27 d	56,67 d	62,03 e
CD 117	50,93 c	54,40 c	57,07 d	73,17 d
CD 150	40,93 f	44,00 f	46,67 e	61,85 e
CD 151	52,73 c	58,07 b	62,07 b	67,46 e
CD 154	47,20 d	51,20 d	55,07 d	64,36 e
Embrapa 21	41,33 f	44,47 f	47,47 e	69,72 e
IAC 350	45,67 d	49,67 d	53,67 d	69,35 e
IAC 5 Maringá	60,93 a	66,87 a	70,60 a	107,03 a
IAC 24 Tucuruí	51,67 c	55,80 c	59,07 c	68,49 e
IPR 144	46,80 d	50,13 d	53,33 d	73,39 d
IPR 85	42,80 e	46,93 e	51,13 e	69,72 e
IPR Catuara TM	39,07 f	43,60 f	49,13 e	71,25 d
MGS Aliança	53,80 c	57,07 c	59,60 c	78,05 c
Quartzo	46,20 d	49,20 d	52,20 d	72,97 d
Supera	43,67 e	46,93 e	49,67 e	68,05 e
TBIO Sinuelo	48,47 d	51,67 d	55,07 d	65,91 e
Topázio	52,07 c	55,33 c	58,07 d	67,55 e
UFVT1 Pioneiro	60,87 a	65,40 a	69,60 a	78,69 c
Média	49,22	53,07	56,64	72,45
Controle	48,17	52,11	55,88	76,73
Calor	51,58	54,89	57,72	67,77
Seca	47,91	52,21	56,33	72,86

DEM: dias para o emborrachamento; DES: dias para o espigamento; DAN: dias para a antese; ALT: altura. Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

As Tabelas 6 à 9 apresentam as características que mostraram interação G x A na análise de variância conjunta. Aplicou-se o teste de Scott-Knott entre as cultivares, dentro de cada ambiente (coluna, letra minúscula), e em cada cultivar, entre os ambientes (linha, letra maiúscula).

Tabela 6. Teste de Scott-Knott para as médias das características ciclo (CIC) e número de espigas por planta (NEP) das 30 cultivares de trigo avaliadas nos ambientes Controle, Calor (estresse térmico) e Seca (estresse hídrico).

Cultivar	CIC (dias)				NEP (nº)			
	Controle	Calor	Seca	Média	Controle	Calor	Seca	Média
Anahuac 75	82,2 d A	77,2 d A	71,0 c B	76,80	1,80 b A	1,45 c A	1,10 b A	1,45
BH 1146	92,4 b A	84,0 b A	90,0 b A	88,80	1,75 b A	1,45 c A	1,97 a A	1,72
BR 18 Terena	85,2 c A	81,4 c A	76,2 c A	80,93	1,85 b A	1,05 c A	1,50 b A	1,47
BR 24	106,8 a A	92,0 a B	98,2 a B	99,00	1,20 b A	1,15 c A	1,50 b A	1,28
BRS 208	87,0 c A	82,6 c A	81,6 c A	83,73	1,50 b A	1,20 c A	1,12 b A	1,27
BRS 210	82,6 d A	78,0 d A	69,0 c B	76,53	1,45 b A	1,68 c A	1,00 b A	1,38
BRS 220	95,2 b A	86,6 b A	86,2 b A	89,33	1,50 b A	1,42 c A	1,45 b A	1,46
BRS 229	94,0 b A	84,2 b A	87,0 b A	88,40	3,05 a A	2,10 b A	2,35 a A	2,50
BRS 327	92,8 b A	85,7 b A	98,5 a A	92,32	2,22 b A	1,72 c A	1,79 a A	1,91
BRS 49	83,4 d A	80,4 c A	75,0 c A	79,60	2,05 b A	2,00 b A	1,35 b A	1,80
BRS Gralha Azul	88,2 c A	82,4 c A	82,4 c A	84,33	3,00 a A	1,40 c C	2,30 a B	2,23
BRS Guabijú	83,6 d A	80,4 c A	85,8 b A	83,27	2,85 a A	2,23 b A	2,20 a A	2,43
BRS Guamirim	88,6 c A	81,0 c A	81,0 c A	83,53	3,05 a A	2,20 b A	2,37 a A	2,54
CD 117	92,0 b A	84,0 b B	78,4 c B	84,80	3,05 a A	3,05 a A	1,70 b B	2,60
CD 150	80,8 d A	76,4 d A	69,6 c A	75,60	2,80 a A	2,20 b B	1,30 b C	2,10
CD 151	95,2 b A	81,8 c B	79,8 c B	85,60	2,30 b A	1,55 c A	1,65 b A	1,83
CD 154	83,2 d A	77,6 d A	75,4 c A	78,73	2,35 b A	1,40 c A	1,50 b A	1,75
Embrapa 21	81,4 d A	75,4 d B	69,8 c B	75,53	2,30 b A	2,58 b A	1,35 b B	2,08
IAC 350	86,2 c A	78,2 d B	76,0 c B	80,13	1,32 b A	1,10 c A	1,05 b A	1,16
IAC 5 Maringá	104,8 a A	88,6 a A	96,2 a A	96,53	1,90 b A	1,17 c B	1,25 b B	1,44
IAC 24 Tucuruí	94,6 b A	79,2 c B	86,0 b B	86,60	1,65 b A	1,30 c A	1,85 a A	1,60
IPR 144	86,2 c A	80,6 c B	72,8 c C	79,87	2,10 b A	1,23 c B	1,05 b B	1,46
IPR 85	82,8 d A	74,8 d B	71,2 c B	76,27	1,92 b A	1,40 c A	1,25 b A	1,52
IPR Catuara TM	83,2 d A	75,4 d B	71,2 c B	76,60	1,95 b A	1,30 c B	1,05 b B	1,43
MGS Aliança	89,6 c A	83,2 b B	84,2 b B	85,67	2,35 b A	1,82 c A	1,75 b A	1,97
Quartzo	87,4 c A	79,6 c B	80,4 c B	82,47	3,45 a A	3,63 a A	2,90 a A	3,33
Supera	82,2 d A	76,6 d A	70,6 c B	76,47	2,70 a A	2,50 b A	1,10 b B	2,10
TBIO Sinuelo	86,2 c A	81,0 c A	77,8 c A	81,67	2,95 a A	2,05 b A	2,00 a A	2,33
Topázio	89,6 c A	83,6 b B	75,4 c C	82,87	2,70 a A	2,50 b A	2,35 a A	2,52
UFVT1 Pioneiro	97,6 b A	94,0 a A	89,4 b A	93,67	1,50 b A	1,20 c A	1,65 b A	1,45
Médias	88,83	81,53	80,20	83,52	2,22	1,77	1,62	1,87

Letras minúsculas correspondem ao teste de média dentro do ambiente; letras maiúsculas correspondem ao teste de média dentro da cultivar. Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Para a característica CIC, o teste de médias dividiu as cultivares em quatro grupos no ambiente Controle, com as cultivares BR 24 e IAC 5 Maringá ocupando o grupo de maior média, apresentando os ciclos mais longos, enquanto o grupo de menor média ficou constituído de 10 cultivares. No ambiente Calor, também dividido em quatro grupos, a cultivar UFVT1 Pioneiro juntou-se ao grupo das cultivares de ciclo mais longo, juntamente com as destacadas no ambiente Controle. O grupo de menor ciclo ficou formado por nove cultivares. Por sua vez, no ambiente Seca, formou-se apenas três grupos, sendo 20 cultivares integrantes do grupo de ciclo mais precoce, sendo que o ciclo mais longo foi observado novamente nas cultivares BR 24 e IAC 5 Maringá, juntamente com BRS 327 (Tabela 6).

Analisando-se o comportamento de cada cultivar nos diferentes ambientes em relação ao ciclo (Tabela 6; Figura 7), 15, das 30 cultivares apresentaram médias significativamente distintas entre os ambientes.

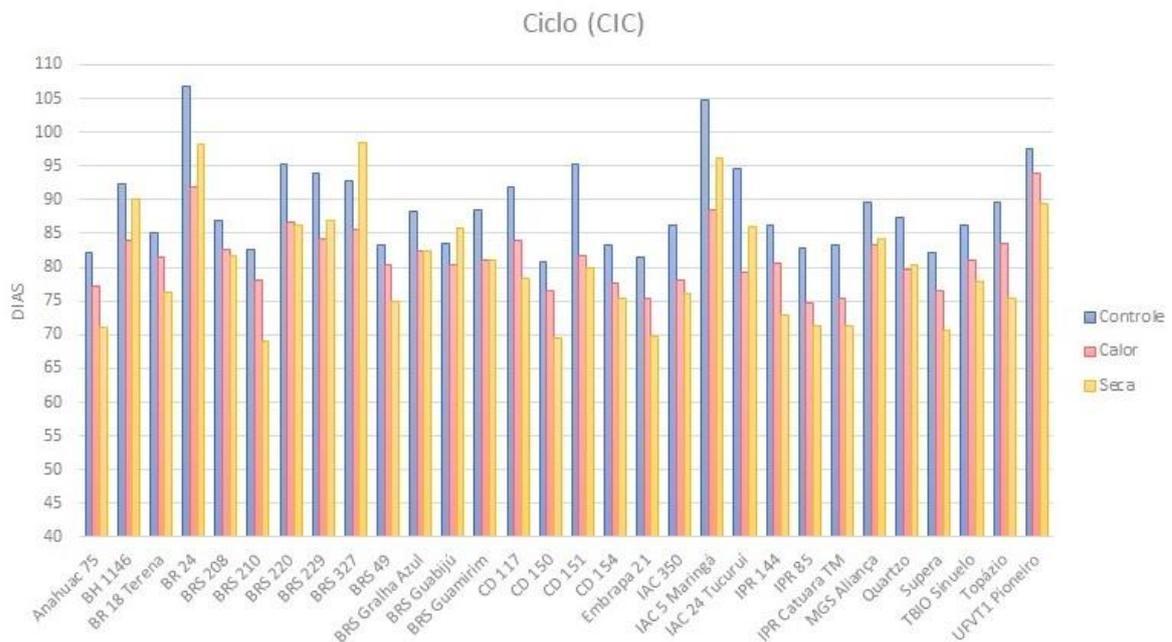


Figura 7. Comportamento das 30 cultivares de trigo avaliadas nos ambientes Controle, Calor (estresse térmico) e Seca (estresse hídrico) para a característica ciclo.

Destas, apenas Anahuac 75, BRS 210 e Supera não apresentaram diferença significativa entre o ambiente Controle e Calor, ou seja, houve encurtamento significativo do ciclo apenas no ambiente Seca. As demais, mostraram encurtamento

do ciclo tanto no ambiente Calor quanto no ambiente Seca, sendo que as cultivares Topázio e IPR 144 tiveram redução ainda mais acentuada em estresse hídrico.

Vale ressaltar que o desenvolvimento fenológico mais rápido é considerado um método de escape ao estresse. Quando há diminuição do ciclo em ambientes de estresse térmico ou hídrico, geralmente está associado a um encurtamento no período de enchimento dos grãos, causando menor acúmulo de açúcares, levando à redução do peso de grãos (RIBEIRO, 2012). Pode ser relevante então, destacar as cultivares que não apresentaram resposta diferencial aos ambientes estressantes.

Para a característica NEP (Tabela 6), o teste de médias agrupou as cultivares em somente dois grupos nos ambientes Controle e Seca, com dez cultivares no grupo de maior média e 20 no grupo de menor média, e em três grupos no ambiente Calor, destacando-se as cultivares Quartzo e CD 117 com mais espigas por planta.

Oito cultivares foram responsáveis pela interação G x A para a característica NEP, sendo que: CD 117, Embrapa 21 e Supera só apresentaram redução significativa no número de espigas por planta quando submetidas ao estresse hídrico; o calor influenciou na resposta de IAC 5 Maringá, IPR 144, IPR Catuara TM e principalmente, da cultivar BRS Galha Azul. Já a cultivar CD 150 sofreu uma redução do número de espigas por planta maior no ambiente Seca do que no ambiente Calor (Tabela 6; Figura 8).

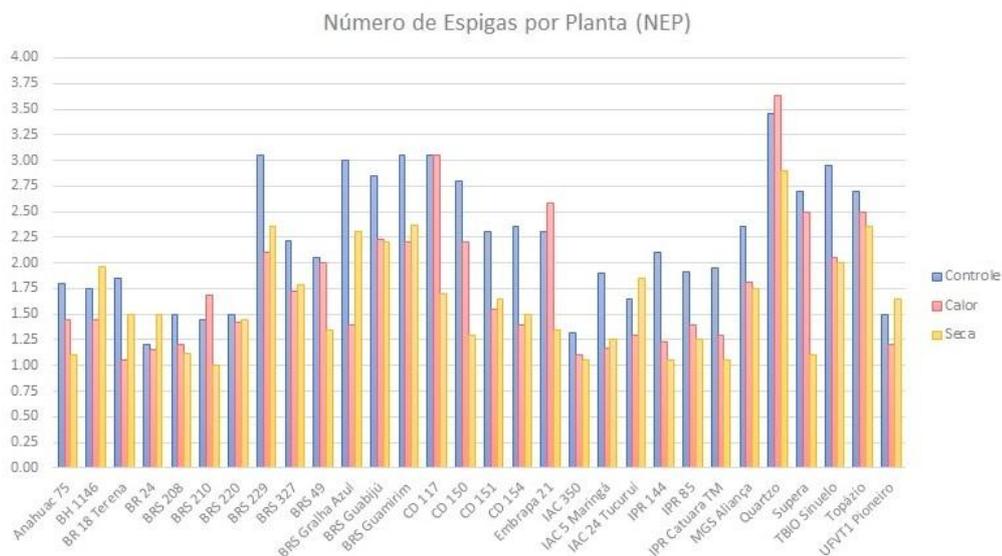


Figura 8. Comportamento das 30 cultivares de trigo avaliadas nos ambientes Controle, Calor (estresse térmico) e Seca (estresse hídrico) para a característica número de espigas por planta.

Observando o teste de médias para a característica PME, nota-se a formação de três grupos no ambiente Controle, com destaque para as cultivares IAC 350 e IAC 24 Tucuruí, e formação de dois grupos no ambiente Calor, onde o grupo de maior média contém 11 cultivares (Tabela 7).

Tabela 7. Teste de Scott-Knott para as médias das características peso médio de espigas (PME) e peso de grãos por espiga (PGE) das 30 cultivares de trigo avaliadas nos ambientes Controle, Calor (estresse térmico) e Seca (estresse hídrico).

Cultivar	PME (g)				PGE (g)			
	Controle	Calor	Seca	Média	Controle	Calor	Seca	Média
Anahuac 75	0,77 b A	0,91 a A	0,52 a A	0,73	0,54 b A	0,62 a A	0,23 a B	0,46
BH 1146	0,71 c A	0,58 b B	0,50 a B	0,60	0,59 a A	0,40 b B	0,36 a B	0,45
BR 18 Terena	0,91 b A	1,06 a A	0,49 a B	0,82	0,68 a A	0,62 a A	0,25 a B	0,52
BR 24	0,89 b A	0,81 a A	0,43 a B	0,71	0,65 a A	0,52 a A	0,19 a B	0,45
BRS 208	0,85 b A	0,72 b A	0,72 a A	0,76	0,61 a A	0,47 b A	0,50 a A	0,53
BRS 210	0,78 b A	0,64 b A	0,49 a A	0,64	0,55 b A	0,40 b A	0,24 a B	0,39
BRS 220	0,81 b A	0,64 b A	0,52 a A	0,66	0,61 a A	0,40 b A	0,30 a A	0,44
BRS 229	0,53 c A	0,37 b A	0,42 a A	0,44	0,38 b A	0,21 b A	0,26 a A	0,28
BRS 327	0,81 b A	0,57 b A	0,48 a A	0,62	0,62 a A	0,35 b B	0,31 a B	0,43
BRS 49	0,60 c A	0,55 b A	0,48 a A	0,54	0,43 b A	0,32 b A	0,28 a A	0,34
BRS Gralha Azul	0,69 c B	0,99 a A	0,58 a B	0,75	0,53 b A	0,68 a A	0,39 a A	0,53
BRS Guabijú	0,68 c A	0,60 b A	0,39 a B	0,56	0,52 b A	0,40 b A	0,24 a B	0,39
BRS Guamirim	0,53 c A	0,47 b A	0,38 a A	0,46	0,38 b A	0,28 b A	0,22 a A	0,29
CD 117	0,66 c A	0,43 b B	0,47 a B	0,52	0,51 b A	0,26 b B	0,28 a B	0,35
CD 150	0,58 c A	0,58 b A	0,44 a A	0,53	0,46 b A	0,41 b A	0,27 a A	0,38
CD 151	0,79 b A	0,61 b A	0,48 a A	0,63	0,61 a A	0,39 b B	0,26 a B	0,42
CD 154	0,77 b A	0,92 a A	0,60 a A	0,76	0,54 b A	0,59 a A	0,32 a A	0,48
Embrapa 21	0,80 b A	0,68 b A	0,57 a A	0,68	0,62 a A	0,50 a A	0,36 a A	0,49
IAC 350	1,13 a A	0,85 a B	0,61 a B	0,87	0,84 a A	0,55 a B	0,34 a B	0,58
IAC 5 Maringá	0,78 b A	0,77 a A	0,51 a A	0,69	0,52 b A	0,45 b A	0,26 a A	0,41
IAC 24 Tucuruí	1,03 a A	0,77 a B	0,58 a B	0,79	0,70 a A	0,41 b B	0,26 a B	0,46
IPR 144	0,78 b A	0,98 a A	0,44 a B	0,73	0,59 a A	0,61 a A	0,20 a B	0,47
IPR 85	0,86 b A	0,79 a A	0,57 a A	0,74	0,62 a A	0,50 a A	0,31 a A	0,48
IPR Catuara TM	0,87 b A	1,05 a A	0,68 a A	0,87	0,64 a A	0,77 a A	0,41 a A	0,61
MGS Aliança	0,82 b A	0,65 b A	0,54 a A	0,67	0,65 a A	0,46 b A	0,35 a A	0,48
Quartzo	0,62 c A	0,55 b A	0,58 a A	0,58	0,49 b A	0,37 b A	0,41 a A	0,42
Supera	0,59 c A	0,55 b A	0,52 a A	0,55	0,45 b A	0,39 b A	0,34 a A	0,39
TBIO Sinuelo	0,58 c A	0,52 b A	0,36 a A	0,49	0,46 b A	0,36 b A	0,20 a B	0,34
Topázio	0,58 c A	0,36 b B	0,31 a B	0,42	0,45 b A	0,23 b B	0,19 a B	0,29
UFVT1 Pioneiro	0,78 b A	0,57 b A	0,50 a A	0,62	0,63 a A	0,32 b B	0,31 a B	0,42
Médias	0,75	0,69	0,50	0,65	0,56	0,44	0,29	0,43

Letras minúsculas correspondem ao teste de média dentro do ambiente; letras maiúsculas correspondem ao teste de média dentro da cultivar. Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Dez cultivares foram responsáveis pela interação G x A desta característica, todas apresentando redução do peso médio de espigas (PME) quando submetidas ao calor ou à seca, com exceção da BRS Gralha Azul, que apresentou a melhor resposta no ambiente Calor (Tabela 7; Figura 9).

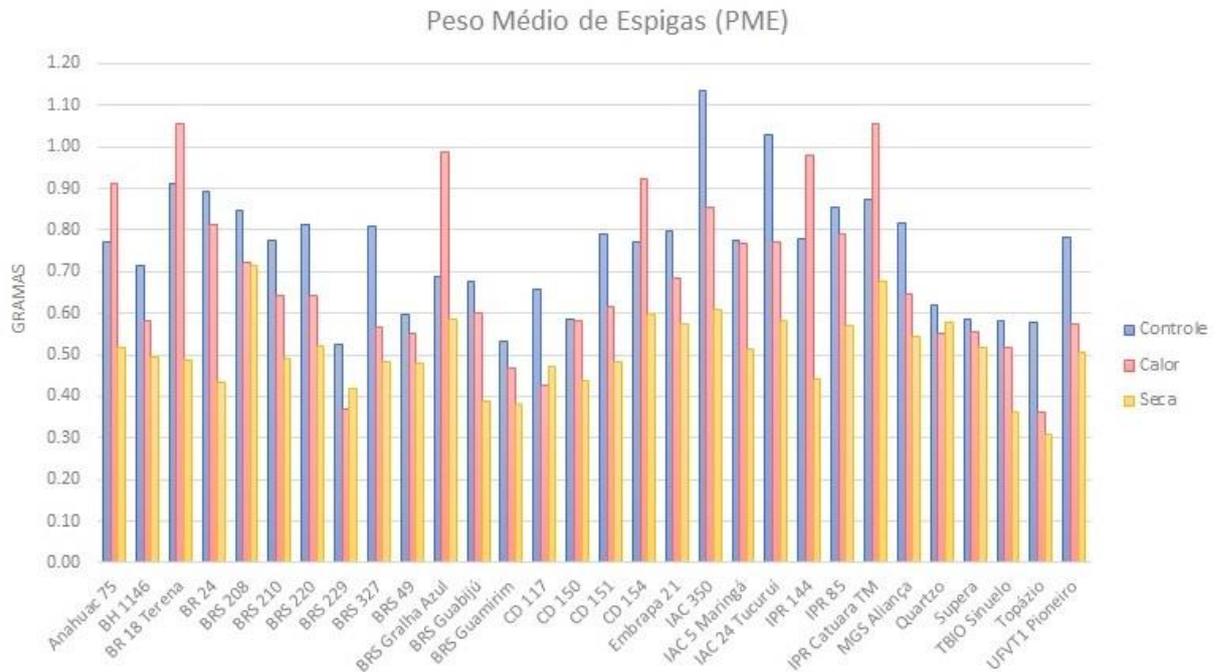


Figura 9. Comportamento das 30 cultivares de trigo avaliadas nos ambientes Controle, Calor (estresse térmico) e Seca (estresse hídrico) para a característica peso médio de espigas.

Para a característica PGE, houve a formação de dois grupos tanto no ambiente Controle, com 15 cultivares em cada grupo, quanto no Calor, com dez cultivares integrando o grupo de maior média e 20 cultivares no grupo de menor média (Tabela 7). O ambiente Seca, como não apresentou diferença significativa entre as cultivares para as características PME e PGE (Tabela 2) teve formação de apenas um grupo, ou seja, não foi possível discriminar as cultivares para cultivo em ambiente de sequeiro com base no peso de grãos ou espigas.

Das 30 cultivares analisadas, 15 apresentaram interação G x A para a característica PGE, sendo: oito que tiveram redução significativa no peso de grãos quando submetidas aos estresses térmico e hídrico, e sete que sofreram perda no peso de grãos somente quando submetidas à seca (Tabela 7; Figura 10).

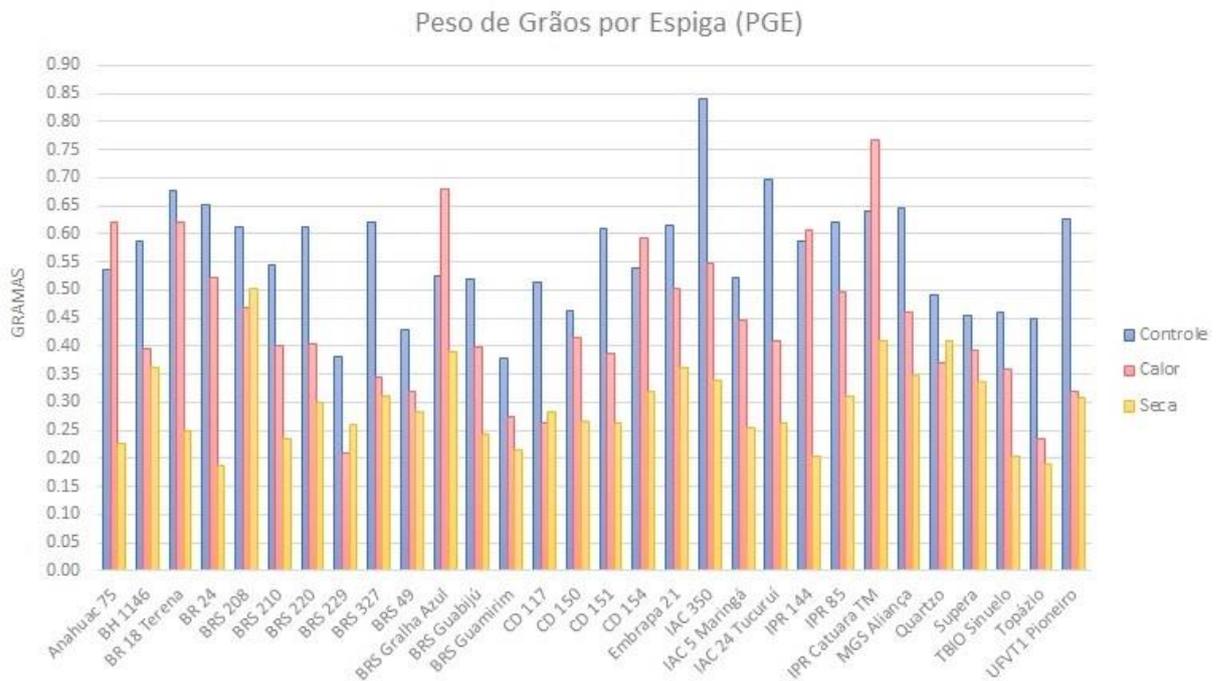


Figura 10. Comportamento das 30 cultivares de trigo avaliadas nos ambientes Controle, Calor (estresse térmico) e Seca (estresse hídrico) para a característica peso de grãos por espiga.

Neste caso, deve ser dada atenção às cultivares que não apresentaram interação G x A, uma vez que a interação mostrou-se negativa para os ambientes com estresse.

Ao analisarmos o peso dos grãos, nota-se uma redução em torno de 21% da média do ambiente Calor em relação ao Controle. Segundo Souza, Pimentel e Ribeiro (2011), a alta temperatura implica em perdas no rendimento de grãos, com o desenvolvimento de grãos enrugados, peso reduzido e redução da qualidade comercial do trigo, devido principalmente aos danos ocasionados na fase de enchimento de grãos (DIAS; BAGULHO; LIDON, 2008). Redução no peso dos grãos entre 21 e 35% foi verificada em estudo realizado por Assad e Paulsen (2002). Em estudo posterior, Shah e Paulsen (2003) constataram que essa redução sob estresse é decorrente da diminuição da taxa fotossintética da folha bandeira e da senescência foliar precoce. Além dos malefícios causados à fotossíntese, a deposição de amido nos grãos é reduzida em função das enzimas envolvidas na biossíntese do amido serem sensíveis à temperatura elevada (DENYER; HYLTON; SMITH, 1994).

Para a característica TME, o teste Scott-Knott agrupou as cultivares em três conjuntos no ambiente Controle e Seca, e quatro conjuntos no ambiente Calor. Seis cultivares integram o grupo com maiores médias de tamanho de espiga no ambiente Controle, enquanto sete cultivares se destacam no ambiente Calor e três no ambiente Seca (Tabela 8).

Tabela 8. Teste de Scott-Knott para as médias das características tamanho médio de espigas (TME) e número de espiguetas por espiga (NEE) das 30 cultivares de trigo avaliadas nos ambientes Controle, Calor (estresse térmico) e Seca (estresse hídrico).

Cultivar	TME (cm)				NEE (nº)			
	Controle	Calor	Seca	Média	Controle	Calor	Seca	Média
Anahuac 75	6,64 b B	7,87 a A	8,11 a A	7,54	11,28 c B	14,88 b A	14,84 a A	13,67
BH 1146	5,35 c B	6,89 b A	5,73 c B	5,99	10,74 c B	15,06 b A	11,56 c B	12,45
BR 18 Terena	6,03 c A	7,32 b A	6,60 c A	6,65	11,56 c B	15,60 b A	11,84 c B	13,00
BR 24	6,60 b A	8,00 a A	7,08 b A	7,23	15,72 a A	18,44 a A	15,52 a A	16,56
BRS 208	6,14 c A	5,91 c A	6,08 c A	6,04	11,36 c A	13,28 c A	12,18 c A	12,27
BRS 210	6,65 b A	7,12 b A	7,51 b A	7,09	12,02 c B	14,02 c A	14,76 a A	13,60
BRS 220	6,11 c A	6,29 c A	6,21 c A	6,21	12,6 b A	13,76 c A	12,14 c A	12,83
BRS 229	5,35 c A	5,50 d A	5,53 c A	5,46	10,08 c A	10,66 d A	10,24 d A	10,33
BRS 327	6,23 b A	6,49 c A	6,29 c A	6,34	11,36 c A	12,27 c A	11,38 c A	11,67
BRS 49	4,87 c A	5,46 d A	5,83 c A	5,39	9,80 c A	11,86 d A	12,76 c A	11,47
BRS Gralha Azul	6,62 b B	8,75 a A	6,72 c B	7,36	11,86 c B	17,44 a A	12,18 c B	13,83
BRS Guabijú	5,93 c A	6,22 c A	5,52 c A	5,89	12,06 c B	14,30 c A	10,98 d B	12,45
BRS Guamirim	5,54 c A	6,01 c A	6,10 c A	5,88	10,72 c B	12,96 c A	13,28 b A	12,32
CD 117	5,41 c A	5,13 d A	5,92 c A	5,49	10,44 c A	10,44 d A	11,76 c A	10,88
CD 150	5,57 c A	6,12 c A	6,19 c A	5,96	11,06 c B	12,82 c A	12,66 c A	12,18
CD 151	6,56 b A	6,95 b A	6,90 b A	6,80	12,58 b A	13,22 c A	12,56 c A	12,79
CD 154	7,38 a A	8,24 a A	7,41 b A	7,68	12,94 b B	15,90 b A	12,78 c B	13,87
Embrapa 21	5,24 c B	5,06 d B	6,15 c A	5,48	10,44 c B	11,38 d B	12,70 c A	11,51
IAC 350	6,95 a A	7,06 b A	6,79 b A	6,94	13,82 b B	16,14 b A	13,42 b B	14,46
IAC 5 Maringá	7,23 a A	7,69 a A	7,41 b A	7,44	15,36 a B	18,82 a A	15,34 a B	16,51
IAC 24 Tucuruí	7,02 a A	7,01 b A	7,31 b A	7,11	15,16 a B	16,86 a A	14,46 a B	15,49
IPR 144	6,81 b A	8,68 a A	7,64 b A	7,71	12,50 b B	17,46 a A	13,44 b B	14,47
IPR 85	7,23 a A	7,50 b A	8,14 a A	7,62	11,86 c A	13,50 c A	13,72 b A	13,03
IPR Catuara TM	7,40 a A	7,86 a A	8,48 a A	7,91	11,66 c A	13,44 c A	15,00 a A	13,37
MGS Aliança	5,73 c A	6,18 c A	5,90 c A	5,94	12,82 b A	14,68 b A	12,98 c A	13,49
Quartzo	5,63 c A	6,97 b A	6,56 c A	6,39	11,00 c A	13,02 c A	12,64 c A	12,22
Supera	5,87 c B	6,05 c B	7,32 b A	6,41	11,06 c B	11,86 d B	13,48 b A	12,13
TBIO Sinuelo	5,24 c A	6,02 c A	6,20 c A	5,82	10,76 c A	12,30 c A	11,66 c A	11,57
Topázio	5,26 c A	5,13 d A	5,32 c A	5,24	9,62 c A	9,86 d A	8,98 d A	9,49
UFVT1 Pioneiro	6,48 b A	7,61 b A	7,13 b A	7,07	12,80 b A	14,74 b A	13,72 b A	13,75
Médias	6,17	6,77	6,67	6,54	11,90	14,03	12,83	12,92

Letras minúsculas correspondem ao teste de média dentro do ambiente; letras maiúsculas correspondem ao teste de média dentro da cultivar. Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Cinco cultivares apresentaram interação G x A para a característica TME. A cultivar Anahuac 75 produziu espigas significativamente maiores nos dois ambientes com estresse em relação ao Controle. BH 1146 e BRS Gralha Azul mostraram maiores médias em estresse térmico e Embrapa 21 e Supera em estresse hídrico (Tabela 8; Figura 11).

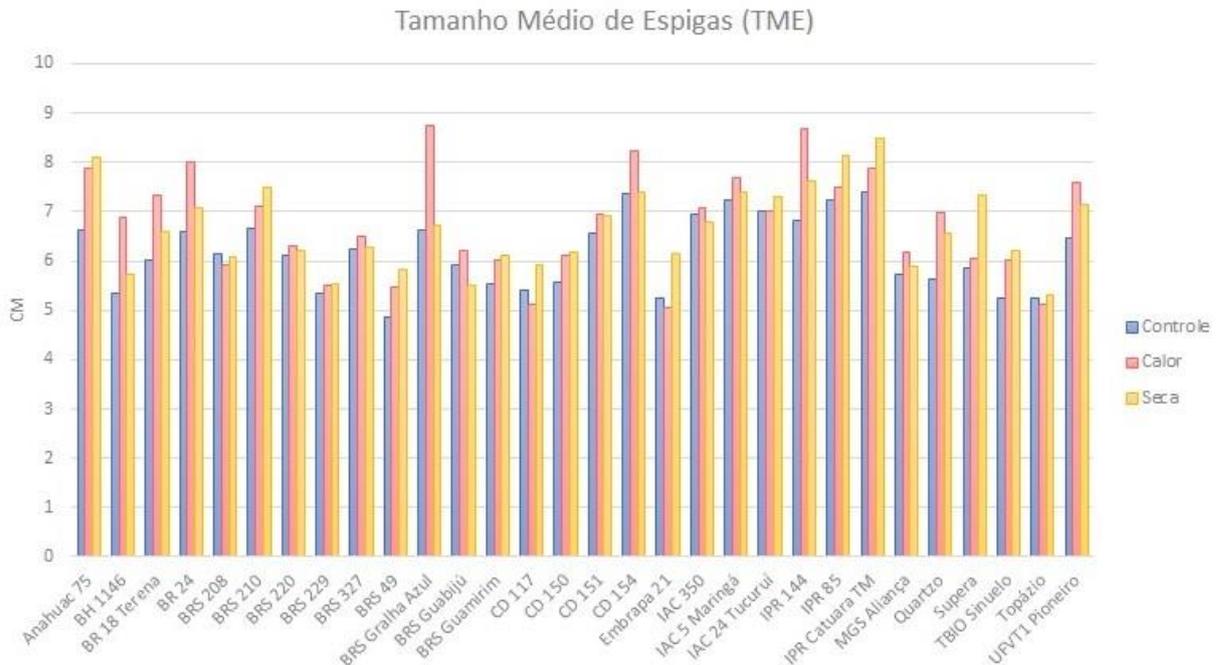


Figura 11. Comportamento das 30 cultivares de trigo avaliadas nos ambientes Controle, Calor (estresse térmico) e Seca (estresse hídrico) para a característica tamanho médio de espigas.

Para a característica NEE, o teste de médias dividiu as cultivares em três grupos no ambiente Controle, destacando-se BR 24, IAC 5 Maringá e IAC 24 Tucuruí. No ambiente Calor, cinco cultivares foram agrupadas com as maiores médias, adicionando BRS Gralha Azul e IPR 144 às três citadas acima. No ambiente Seca, seis cultivares apresentaram médias superiores às demais (Tabela 8).

Quinze cultivares apresentaram diferença significativa na média de NEE entre os três ambientes. Destas, nove produziram mais espiguetas por espiga no ambiente com estresse térmico, e duas, Embrapa 21 e Supera, produziram maior número de espiguetas no ambiente Seca. As demais tiveram desempenho semelhante nos dois ambientes com estresse, com médias superiores ao ambiente Controle (Tabela 8; Figura 12).

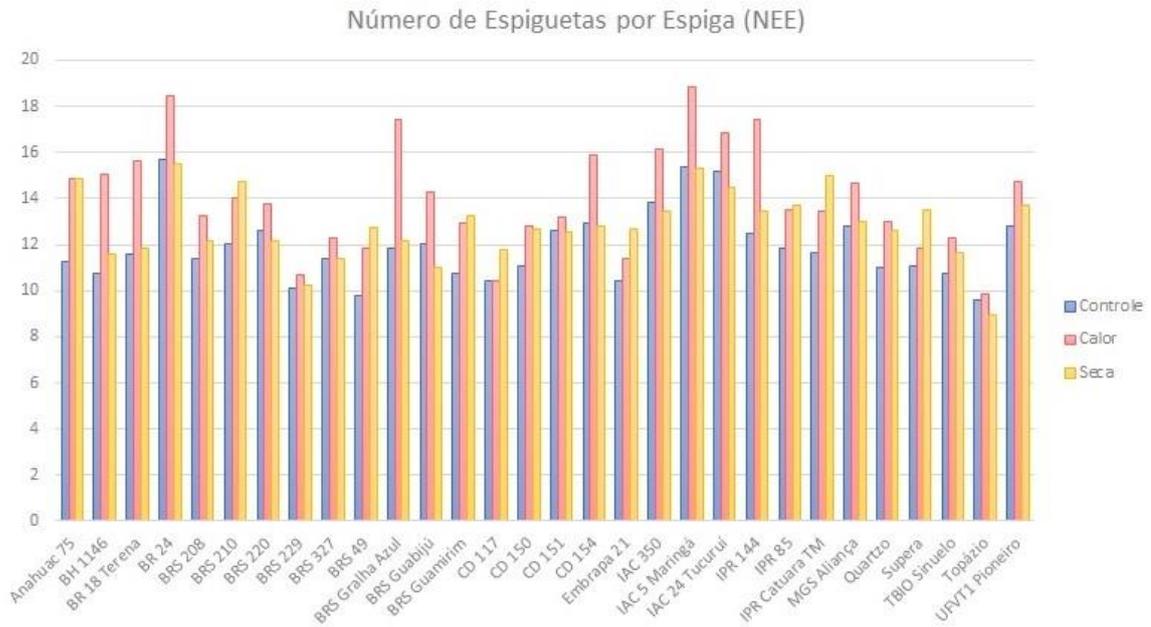


Figura 12. Comportamento das 30 cultivares de trigo avaliadas nos ambientes Controle, Calor (estresse térmico) e Seca (estresse hídrico) para a característica número de espiguetas por espiga.

É importante salientar que o aumento no número de espiguetas por espiga muitas vezes se deve à ocorrência de anomalias durante a formação da espiga em ambientes de estresse térmico (Figura 13). Na maioria dos casos, entretanto, essas espiguetas extras são inférteis.



Figura 13. Anomalias na formação de espiguetas e espiga totalmente infértil de cultivares de trigo expostas ao estresse térmico.

No teste de Scott-Knott para a característica NGE, houve a separação das cultivares em apenas dois grupos, em todos os ambientes. No ambiente Controle, 16 cultivares fazem parte do grupo com maior número de grãos por espiga. No Calor, são 19 cultivares e no ambiente Seca, 21 genótipos (Tabela 9).

Tabela 9. Teste de Scott-Knott para as médias das características número de grãos por espiga (NGE) e porcentagem de espiguetas férteis (%EF) das 30 cultivares de trigo avaliadas nos ambientes Controle, Calor (estresse térmico) e Seca (estresse hídrico).

Cultivar	NGE (nº)				%EF (%)			
	Controle	Calor	Seca	Média	Controle	Calor	Seca	Média
Anahuac 75	14,27 b B	27,03 a A	11,75 b B	17,69	66,26 b B	84,36 a A	52,48 b C	67,70
BH 1146	18,22 a A	22,04 a A	15,21 b A	18,49	95,60 a A	84,26 a A	75,38 a A	85,08
BR 18 Terena	21,23 a A	22,61 a A	18,55 a A	20,79	87,28 a A	66,06 b A	71,12 a A	74,82
BR 24	18,90 a A	26,55 a A	7,87 b B	17,77	66,56 b A	80,38 a A	27,84 c B	58,26
BRS 208	14,94 b A	21,60 a A	16,07 a A	17,53	68,18 b A	76,68 a A	66,58 a A	70,48
BRS 210	18,75 a A	20,94 a A	19,80 a A	19,83	79,00 a A	78,20 a A	66,36 a A	74,52
BRS 220	21,01 a A	23,50 a A	17,98 a A	20,83	80,74 a A	85,40 a A	66,72 a A	77,62
BRS 229	14,47 b A	16,46 b A	17,67 a A	16,20	73,58 b A	73,74 a A	75,72 a A	74,35
BRS 327	16,79 b A	13,32 b A	16,43 a A	15,51	80,88 a A	66,00 b A	76,93 a A	74,60
BRS 49	15,19 b A	14,41 b A	17,40 a A	15,67	83,04 a A	65,98 b A	75,00 a A	74,67
BRS Gralha Azul	20,44 a B	33,94 a A	18,95 a B	24,44	84,70 a A	89,74 a A	72,98 a A	82,47
BRS Guabijú	21,31 a A	21,58 a A	14,26 b A	19,05	91,70 a A	78,98 a B	69,66 a B	80,11
BRS Guamirim	13,31 b A	11,68 b A	11,79 b A	12,26	75,70 a A	55,92 b A	59,08 b A	63,57
CD 117	17,66 b A	14,25 b A	21,00 a A	17,64	78,78 a A	63,32 b A	78,64 a A	73,58
CD 150	18,72 a A	23,03 a A	20,33 a A	20,69	88,52 a A	87,82 a A	73,38 a A	83,24
CD 151	21,67 a A	22,77 a A	20,15 a A	21,53	78,78 a A	76,26 a A	71,80 a A	75,61
CD 154	21,74 a A	25,87 a A	22,82 a A	23,48	76,80 a A	73,68 a A	71,52 a A	74,00
Embrapa 21	17,64 b A	18,38 b A	20,15 a A	18,73	85,42 a A	82,08 a A	84,36 a A	83,95
IAC 350	24,98 a A	23,33 a A	19,46 a A	22,59	82,48 a A	74,70 a A	78,90 a A	78,69
IAC 5 Maringá	14,85 b B	24,60 a A	9,64 b B	16,36	59,18 b A	74,68 a A	34,34 c B	56,07
IAC 24 Tucuruí	21,46 a A	19,76 b A	14,14 b A	18,45	67,54 b A	61,18 b A	58,58 b A	62,43
IPR 144	19,50 a B	28,68 a A	15,12 b B	21,10	78,80 a A	78,46 a A	55,78 b B	71,01
IPR 85	16,38 b A	16,24 b A	16,68 a A	16,43	77,12 a A	67,68 b A	67,38 a A	70,73
IPR Catuara TM	19,97 a A	23,98 a A	20,96 a A	21,64	80,56 a A	81,88 a A	71,02 a B	77,82
MGS Aliança	19,48 a A	22,35 a A	19,47 a A	20,43	82,76 a A	89,24 a A	70,66 a A	80,89
Quartzo	16,19 b A	20,94 a A	19,02 a A	18,72	78,06 a A	80,66 a A	77,16 a A	78,63
Supera	15,27 b A	17,09 b A	18,84 a A	17,07	71,08 b A	78,42 a A	69,18 a A	72,89
TBIO Sinuelo	15,77 b A	19,70 b A	16,61 a A	17,36	78,82 a A	75,24 a A	73,60 a A	75,89
Topázio	16,12 b A	13,66 b A	15,32 b A	15,03	83,10 a A	77,40 a A	74,58 a A	78,36
UFVT1 Pioneiro	21,30 a A	24,82 a A	20,24 a A	22,12	84,02 a A	83,14 a A	72,76 a A	79,97
Médias	18,25	21,17	17,12	18,85	78,83	76,38	67,98	74,40

Letras minúsculas correspondem ao teste de média dentro do ambiente; letras maiúsculas correspondem ao teste de média dentro da cultivar. Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Apenas cinco cultivares apresentaram interação G x A para o caráter NGE, sendo elas: Anahuac 75, BR 24, BRS Gralha Azul, IAC 5 Maringá e IPR 144, apresentando número significativamente maior de grãos por espiga em ambiente de estresse térmico (Tabela 9; Figura 14).

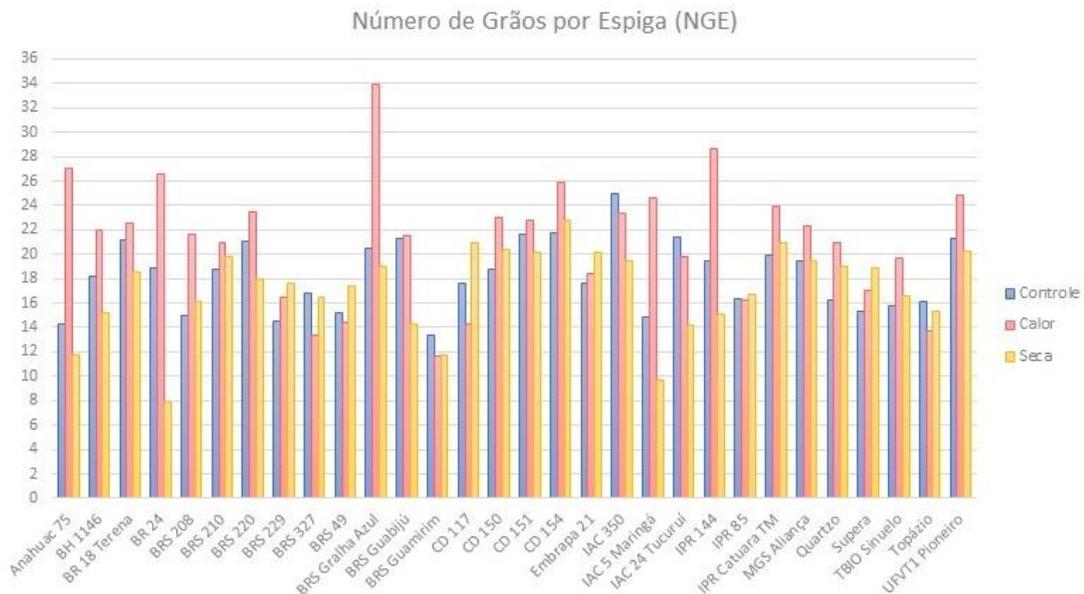


Figura 14. Comportamento das 30 cultivares de trigo avaliadas nos ambientes Controle, Calor (estresse térmico) e Seca (estresse hídrico) para a característica número de grãos por espiga.

Para a característica %EF (Tabela 9), nos ambientes Controle e Calor as cultivares foram distribuídas em dois grupos, com 23 cultivares no grupo de maior média, em ambos os ambientes, e no ambiente Seca houve formação de três grupos. A cultivar BRS Guabijú apresentou resposta significativamente superior no ambiente Controle, não devendo ser selecionada para essa característica. As cultivares IPR Catuara TM, IPR 144, IAC 5 Maringá e BR 24 apresentaram queda na fertilidade somente em estresse hídrico, entretanto, as últimas duas destacam-se pela baixa %EF neste ambiente, podendo ser cultivada em regiões de alta temperatura, mas com irrigação indispensável. Atenção deve ser dada também à cultivar Anahuac 75, que apresentou fertilidade significativamente superior no ambiente Calor, entretanto com necessidade de irrigação, pois, sob estresse hídrico foi significativamente inferior à todas as outras cultivares (Tabela 9; Figura 15).

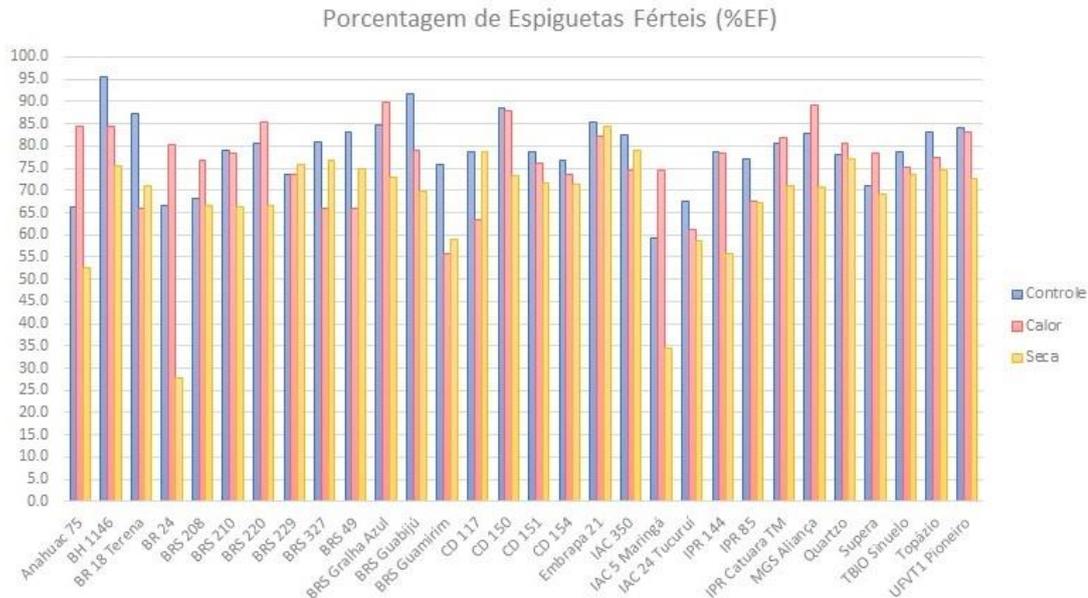


Figura 15. Comportamento das 30 cultivares de trigo avaliadas nos ambientes Controle, Calor (estresse térmico) e Seca (estresse hídrico) para a característica porcentagem de espiguetas férteis.

Alguns programas de melhoramento optam pela seleção em condições extremas de estresse com o objetivo de maior distinção entre genótipos com grau diferenciado de tolerância. Todavia, essa estratégia pode reduzir a manifestação da variabilidade genética a ser explorada. Pode-se também, avaliar os genótipos em ambientes com e sem estresse. A seleção dos genótipos mais tolerantes pode ser realizada então utilizando-se as médias da análise conjunta ou as médias do ambiente com estresse, a critério do melhorista. Com a análise conjunta, é possível identificar genótipos com alta estabilidade diante das variações ambientais, o que é indicado em casos que o objetivo é o cultivo em condições amenas, mas com possibilidade de estresse. Porém, em situações em que a ocorrência do estresse é uma constante, a seleção em ambiente com estresse pode ser mais viável, pois indicam os genótipos com alta adaptabilidade ao ambiente específico, considerando a interação genótipo x ambiente (SOUZA; PIMENTEL; RIBEIRO, 2011).

4.2. Correlações genéticas e fenotípicas

Para o sucesso de um programa de melhoramento genético, é pré-requisito fundamental o entendimento de quanto determinadas características relacionam-se

para a formação de genótipos com perfis agrônômicos desejáveis. Na Tabela 10, encontram-se os resultados das análises de correlações genéticas e fenotípicas.

Tabela 10. Matrizes de correlações genéticas (acima da diagonal) e fenotípicas (abaixo da diagonal) de características avaliadas em 30 cultivares de trigo em condições de Controle, Calor (estresse térmico) e Seca (estresse hídrico).

Controle												
	DEM (dias)	DES (dias)	DAN (dias)	CIC (dias)	ALT (cm)	NEP (nº)	PME (g)	PGE (g)	TME (cm)	NEE (nº)	NGE (nº)	%EF (%)
DEM		0,99**	0,98**	0,99**	0,95**	-0,30	0,09	0,04	0,12	0,61*	-0,39	-0,72**
DES	0,99**		0,99**	0,99**	0,95**	-0,36	0,16	0,11	0,18	0,67*	-0,33	-0,76**
DAN	0,99**	0,99**		0,99**	0,94**	-0,47	0,28	0,22	0,29	0,75**	-0,23	-0,80**
CIC	0,99**	0,99**	0,99**		0,95**	-0,40	0,21	0,15	0,24	0,71*	-0,30	-0,79**
ALT	0,92**	0,92**	0,92**	0,93**		-0,40	0,20	0,16	0,19	0,65*	-0,36	-0,72**
NEP	-0,28	-0,34	-0,43	-0,36	-0,45		-0,98**	-0,96**	-0,88**	-0,88**	-0,58*	0,64*
PME	-0,02	0,04	0,14	0,07	0,17	-0,94**		0,99**	0,90**	0,80**	0,71**	-0,52
PGE	-0,09	-0,03	0,07	0,00	0,11	-0,92**	0,99**		0,84**	0,73**	0,76**	-0,41
TME	0,03	0,09	0,19	0,14	0,17	-0,84**	0,90**	0,83**		0,83**	0,57	-0,67*
NEE	0,52	0,57	0,65*	0,60*	0,61*	-0,89**	0,79**	0,71**	0,85**		0,32	-0,88**
NGE	-0,42	-0,37	-0,29	-0,36	-0,29	-0,64*	0,80**	0,86**	0,63*	0,39		0,11
%EF	-0,72**	-0,74**	-0,77**	-0,77**	-0,69*	0,43	-0,28	-0,14	-0,52	-0,75**	0,27	
Calor (estresse térmico)												
DEM		0,99**	0,99**	0,99**	0,76**	-0,05	-0,54	-0,66*	-0,31	-0,03	-0,22	-0,07
DES	0,99**		0,99**	0,99**	0,77**	-0,08	-0,51	-0,64*	-0,28	0,00	-0,19	-0,06
DAN	0,99**	0,99**		0,99**	0,78**	-0,12	-0,48	-0,61*	-0,24	0,04	-0,16	-0,07
CIC	0,99**	0,99**	0,99**		0,78**	-0,07	-0,52	-0,64*	-0,28	-0,01	-0,18	0,01
ALT	0,58*	0,59*	0,61*	0,61*		-0,53	0,02	-0,12	0,24	0,51	0,25	-0,13
NEP	-0,04	-0,06	-0,09	-0,05	-0,64*		-0,81**	-0,71**	-0,91**	-0,97**	-0,89**	-0,01
PME	-0,60*	-0,58*	-0,56	-0,59*	0,15	-0,78**		0,98**	0,96**	0,85**	0,88**	0,02
PGE	-0,71**	-0,69*	-0,67*	-0,69*	0,03	-0,68*	0,99**		0,91**	0,76**	0,85**	0,12
TME	-0,34	-0,32	-0,29	-0,34	0,38	-0,90**	0,95**	0,89**		0,95**	0,96**	0,10
NEE	-0,09	-0,06	-0,03	-0,07	0,61*	-0,97**	0,83**	0,75**	0,95**		0,92**	0,03
NGE	-0,39	-0,37	-0,35	-0,38	0,30	-0,83**	0,92**	0,90**	0,94**	0,88**		0,35
%EF	-0,39	-0,39	-0,39	-0,37	-0,08	-0,21	0,41	0,50	0,36	0,24	0,64*	
Seca (estresse hídrico)												
DEM		0,99**	0,98**	0,99**	0,88**	0,53	-0,59*	-0,92**	-0,30	0,08	-0,86**	-0,65*
DES	0,99**		0,99**	0,99**	0,91**	0,44	-0,49	-0,90**	-0,19	0,19	-0,91**	-0,73**
DAN	0,98**	0,99**		0,97**	0,92**	0,35	-0,40	-0,89**	-0,09	0,29	-0,94**	-0,80**
CIC	0,99**	0,97**	0,95**		0,89**	0,54	-0,60*	-0,91**	-0,32	0,07	-0,87**	-0,65*
ALT	0,86**	0,89**	0,89**	0,87**		0,18	-0,28	-0,69*	0,00	0,36	-0,94**	-0,81**
NEP	0,40	0,32	0,23	0,47	0,11		-0,97**	-0,63*	-0,90**	-0,73**	-0,11	0,25
PME	-0,71**	-0,66*	-0,61*	-0,68*	-0,39	-0,74**		0,65*	0,93**	0,73**	0,15	-0,21
PGE	-0,75**	-0,75**	-0,76**	-0,66*	-0,51	-0,30	0,84**		0,33	-0,01	0,76**	0,54
TME	-0,32	-0,23	-0,13	-0,39	-0,05	-0,92**	0,62*	0,10		0,91**	-0,16	-0,51
NEE	0,00	0,09	0,19	-0,07	0,26	-0,83**	0,44	-0,10	0,93**		-0,54	-0,80**
NGE	-0,89**	-0,92**	-0,94**	-0,87**	-0,88**	-0,16	0,55	0,76**	-0,03	-0,35		0,92**
%EF	-0,73**	-0,79**	-0,85**	-0,67*	-0,80**	0,21	0,28	0,68*	-0,39	-0,66*	0,92**	

* significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ** significativo a 1% de probabilidade pelo teste F. (DEM) dias para o emborrachamento, (DES) dias para o espigamento, (DAN) dias para a antese, (CIC) ciclo, (ALT) altura das plantas, (NEP) número de espigas por planta, (PME) peso médio de espigas, (PGE) peso de grãos por espiga, (TME) tamanho médio de espigas, (NEE) número de espiguetas por espiga, (%EF) porcentagem de espiguetas férteis e (NGE) número de grãos por espiga.

Podemos observar que as características relacionadas ao ciclo e altura apresentaram correlações positivas significativas entre si em todos os ambientes. No ambiente Controle, essas características apresentam correlações genéticas positivas com NEE e negativas com %EF, ou seja, em ambiente ótimo, quanto mais longo o ciclo e maior a altura da planta, maior o número de espiguetas por espiga, porém, menor a %EF.

Em todos os ambientes também podemos observar correlação genética negativa entre NEP e as características PME, PGE, TME, NEE e NGE, com exceção do ambiente Seca, em que NEP e NGE não apresentam correlação significativa (Tabela 10). Em contraste, Camargo, Ferreira Filho e Felício (1998) encontraram correlação altamente significativa e positiva entre NEP e NEE em populações híbridas de trigo proveniente de parentais melhorados para estas características.

O número de grãos por espiga (NGE) foi afetado pela duração do ciclo em condição de Seca, enquanto no Controle e Calor essas características não apresentaram correlação significativa. Além disso, assim como no Controle, a %EF também apresentou correlação negativa com o ciclo no ambiente de Seca, entretanto, no Controle, o NGE não foi afetado, pois o NEE se correlaciona positivamente com ciclo (Tabela 10). Ou seja, o aumento da porcentagem de espiguetas inférteis em cultivares de ciclo mais longo em condições ótimas é devido ao aumento na formação de espiguetas por espiga, não havendo prejuízo na produção final de grãos, enquanto que em condições de estresse hídrico, a queda da fertilidade das espiguetas leva a uma queda também no número de grãos, pois não há aumento da formação de espiguetas como nas condições do Controle.

Em estudo que se avaliou a eficiência de critérios de seleção para genótipos de trigo produtivos e com tolerância à seca, Bennani et al. (2016), observaram que há correlação positiva entre os caracteres número de espiguetas férteis e produção de grãos, indicando que o primeiro deve ser usado na seleção direta para alta produtividade sob condições de seca.

Observa-se também uma mudança de comportamento das correlações entre as características de componentes de produção dos ambientes Controle e Calor para o ambiente Seca (Tabela 10). No ambiente Seca, PME não apresenta correlação significativa com NGE, nem mesmo PGE com TME e NEE. Ou seja, nos

dois primeiros ambientes, a quantidade de grãos e espiguetas e tamanho da espiga refletem no peso médio de grãos e espigas, enquanto essa relação não se estende ao ambiente Seca. Isso evidencia que a deficiência hídrica prejudicou o acúmulo de reservas nos grãos, diminuindo sua massa, prejudicando a correlação entre quantidade e peso.

Ao estudar correlações entre características em trigo, Hartwig et al. (2007) também encontraram correlações positivas entre o tamanho de espigas, número de espiguetas por espiga, número de grãos por espiga e o rendimento de grãos.

A característica PGE no ambiente Controle não apresentou correlação significativa com características relacionadas ao ciclo, enquanto no ambiente Calor mostrou correlação negativa significativa a 5% pelo teste F, e em condição de Seca, correlação negativa significativa a 1% (Tabela 11), evidenciando que os estresses térmico e principalmente hídrico afetam a resposta do peso de grãos em cultivares de ciclos mais longos.

A produtividade final de grãos é uma característica quantitativa complexa que está relacionada com a habilidade da planta em produzir, translocar e estocar carboidratos (SLEEPER; POELMAN, 2006). O acúmulo de assimilados na fase de pré-antese é uma característica de grande importância para o enchimento de grãos e, conseqüentemente para a produtividade da cultura do trigo. Este é um período crítico, pois, a partir da fase de pré-antese os fotoassimilados produzidos pela fonte começam a diminuir em função da senescência foliar, que se acentuam ainda mais em situação de estresse hídrico (ASSENG; VAN HERWAARDEN, 2003).

O estudo das correlações entre os caracteres agronômicos e, dentre eles, dos componentes de produção, é de grande relevância ao melhoramento, pois permite saber se essas características são geneticamente dependentes ou não, isto é, se tendem a permanecer associadas ou não nas progênies durante os sucessivos ciclos de seleção (FONSECA; PATTERSON, 1968).

A importância da análise de correlação reside na possibilidade de se avaliar o quanto a alteração de uma característica pode afetar as demais. Esse conhecimento pode ser relevante principalmente se a seleção para uma característica é dificultada pela baixa herdabilidade ou por problemas de mensuração e identificação (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004). Como os programas de melhoramento costumam

levar em consideração muitas características simultaneamente, o entendimento da associação genética entre elas pode contribuir para uma melhor escolha dos procedimentos de seleção, maximizando o ganho genético por geração (SANTOS; VENCOVSKY, 1986).

4.3. Análises multivariadas

Para as análises multivariadas, foram utilizados os dados das características ciclo, altura, nº de espigas/planta, peso médio de espigas, peso de grãos/espiga, tamanho médio de espigas, nº de espiguetas/espiga, porcentagem de espiguetas férteis e nº grãos/espiga.

4.3.1. Análise de componentes principais

Foram realizadas análises de componentes principais para cada ambiente, além de uma análise geral, com as médias das cultivares obtidas nos três ambientes. Foram considerados os autovalores superiores à unidade, por preservarem uma quantidade relevante de informação original (Kaiser 1958) e destacaram-se as características que apresentaram valores de correlações acima de 0,6, independentemente do sinal (FERRAUDO, 2010).

Na análise de componentes principais das cultivares de trigo no ambiente Controle, os três primeiros autovalores gerados foram superiores a um, explicando um total de 84,35% da variância contida nas nove características originais (Tabela 11). O primeiro componente principal (CP1) reteve 49,35% da variância original e as características que explicaram a retenção foram: nº espigas/planta, peso médio de espigas, peso de grãos por espiga, tamanho médio de espigas, nº de espiguetas por espiga, e nº de grãos por espiga. O segundo componente principal (CP2) reteve 22,07% da variância original (Tabela 11), explicada por ciclo, porcentagem de espiguetas férteis e nº de grãos por espiga. A porcentagem de espiguetas férteis explicou a variância de 12,93% retida no terceiro componente principal (CP3). As correlações de cada característica com o componente principal pode ser verificada na Tabela 11.

Tabela 11. Valores das correlações entre os componentes principais (CP) e as características avaliadas em 30 cultivares de trigo nos ambientes Controle, Calor (estresse térmico) e Seca (estresse hídrico).

	Controle			Calor			Seca			Geral		
Autovalor	4,44	1,99	1,16	4,89	1,75	1,15	3,00	2,84	1,68	3,38	2,16	1,80
Variância (%)	49,35	22,07	12,93	54,35	19,46	12,72	33,38	31,50	18,67	37,53	23,99	19,97
Var. acumulada (%)	49,35	71,42	84,35	54,35	73,82	86,54	33,38	64,89	83,56	37,53	61,52	81,48
	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3	CP1	CP2	CP3
CIC	-0,46	-0,71	0,40	-0,09	-0,93	0,04	0,23	0,64	0,61	-0,07	0,40	0,82
ALT	-0,46	-0,58	0,55	-0,51	-0,68	-0,02	0,46	0,33	0,65	-0,23	0,13	0,83
NEP	0,79	-0,07	0,08	0,75	0,15	0,36	-0,52	0,57	0,25	0,58	0,59	-0,01
PME	-0,92	0,28	-0,09	-0,89	0,37	-0,19	0,23	-0,79	0,51	-0,85	0,36	0,06
PGE	-0,87	0,37	0,11	-0,84	0,46	0,01	-0,18	-0,62	0,71	-0,70	0,62	0,07
TME	-0,76	0,03	-0,46	-0,90	0,02	-0,11	0,71	-0,52	-0,21	-0,74	-0,53	-0,02
NEE	-0,88	-0,26	-0,05	-0,89	-0,22	-0,17	0,87	-0,34	-0,08	-0,76	-0,50	0,13
%EF	0,27	0,70	0,62	-0,39	0,00	0,90	-0,88	-0,37	0,08	-0,22	0,74	-0,48
NGE	-0,62	0,60	0,27	-0,89	0,00	0,36	-0,60	-0,68	0,01	-0,78	0,20	-0,42

Ciclo (CIC), altura das plantas (ALT), número de espigas por planta (NEP), peso médio de espigas (PME), peso de grãos por espiga (PGE), tamanho médio de espigas (TME), número de espiguetas por espiga (NEE), número de grãos por espiga (NGE) e porcentagem de espiguetas férteis (%EF).

O plano bidimensional formado por CP1 e CP2 reteve no total 71,42% da variância (Figura 16A). Observa-se a distribuição de cada cultivar de acordo com um plano de fator de coordenadas, considerando suas relações com as variáveis. Nota-se que um grande grupo de cultivares localizam-se no centro do plano. Isso demonstra que nesse grupo não há diferenças significativas entre as cultivares, ou seja, os valores das características estão situados em uma faixa de amplitude que não as caracterizam como superiores umas às outras, podendo-se dizer que há certa homogeneidade dentro deste grupo.

Deste mesmo raciocínio, entende-se que as cultivares localizadas nas extremidades do plano apresentam valores que as destacam para determinada característica: positivamente, se localizadas na direção do vetor da característica, ou negativamente, se opostas ao vetor. Entretanto, vale ressaltar que esta análise deve ser interpretada levando em consideração o conjunto das projeções das características com relevância para o componente, e também, a característica em si, pois nem sempre uma média mais alta implica na superioridade da cultivar, como nos casos das características altura de plantas e ciclo.

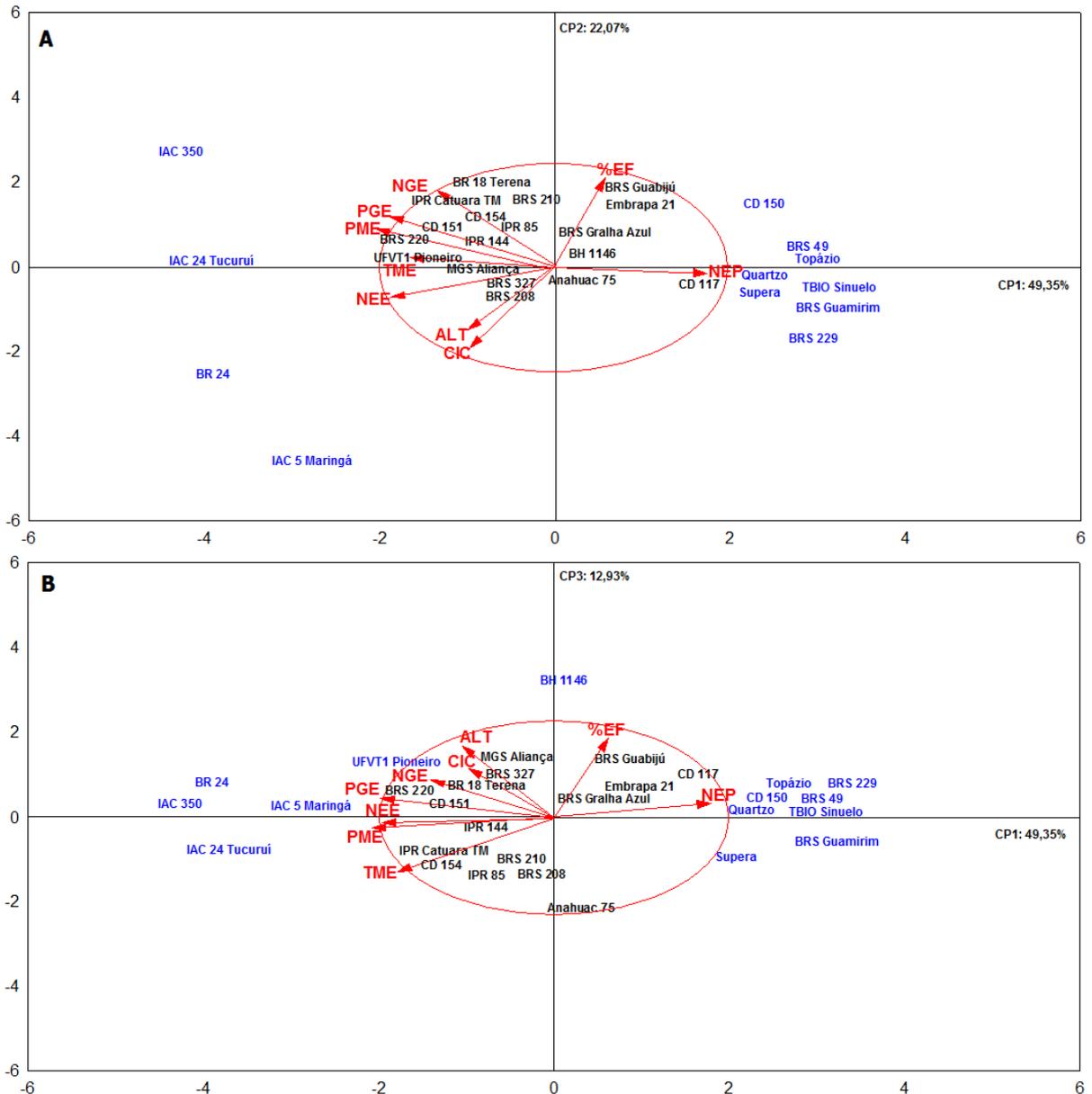


Figura 16. Gráfico biplot com dispersão dos genótipos de trigo no ambiente Controle em função dos componentes principais CP1xCP2 (a) e CP1xCP3 (b) e projeção dos vetores das características: CIC: ciclo; ALT: altura das plantas; NEP: número de espigas por planta; NEE: número de espiguetas por espiga; NGE: número de grãos por espiga; TME: tamanho de espigas; PGE: peso de grãos por espiga; PME: peso médio de espigas e %EF: porcentagem de espiguetas férteis.

Na Figura 16A podemos observar que as cultivares IAC 350 e IAC 24 Tucuruí se destacaram para características ligadas à produtividade (NGE, PME, PGE, TME). As cultivares Quartzo, Supera, TBIO Sinuelo, BRS Guamirim e BRS 229 sobressaíram para a característica NEP, a qual, como foi verificada com a análise de

correlação genética, correlaciona-se negativamente com os demais componentes de produção nos ambientes Controle e Calor. Dessa maneira, para esses ambientes, a projeção dessa característica deu-se em direção oposta às características relacionadas à produção, de forma que as cultivares que circundam NEP apresentam baixos valores de PME, PGE, NGE, TME e NEE e vice-versa.

BR 24 e IAC 5 Maringá, opostas à NEP, destacam-se para NEE, entretanto, analisando o CP2, caracterizam-se também por ciclo longo e baixa %EF. Para selecionar as cultivares de ciclo mais curto no ambiente Controle, deve-se atentar para CD 150, BRS 49 e Topázio, localizadas em direção contrária ao vetor CIC (Figura 16A).

No gráfico bidimensional CP1 x CP3 (Figura 16B) ficou retida 62,28% da variância. A única característica retida no CP3 foi %EF, permitindo selecionar a cultivar BH 1146.

Na PCA do ambiente Calor, os três primeiros autovalores explicaram 86,54% da variância contida nas variáveis originais (Tabela 11). O CP1 reteve 54,35% da variância e ficou explicado pelas características NEP (0,75), PME (-0,89), PGE (-0,84), TME (-0,90), NEE (-0,89) e NGE (-0,89). Ciclo (-0,93) e altura (-0,68) explicaram o CP2 que reteve 19,46% da variância e %EF (0,90) explicou CP3, que reteve 12,72% (Tabela 11).

No gráfico formado por CP1 x CP2 (Figura 17A), podemos selecionar as cultivares IPR Catuara TM, CD 154, Anahuac 75, BR 18 Terena, BRS Galha Azul e IPR 144 como destaques para as características PGE, PME, TME e NGE. As cultivares Embrapa 21 e Supera podem ser selecionadas para altura e ciclo, pois situam-se em direção oposta a estes vetores. BRS 49, BRS Guamirim, Topázio, CD 117, BRS 229 e BRS 327 aparecem no gráfico ao redor de NEP, não devendo ser selecionadas para produtividade, e BR 24, IAC 5 Maringá e UFVT1 Pioneiro destacaram-se pela altura e ciclo longo, ambas características indesejáveis. Na Figura 17B o destaque fica por conta da cultivar BRS Galha Azul pelo seu desempenho em %EF, característica retida no CP3.

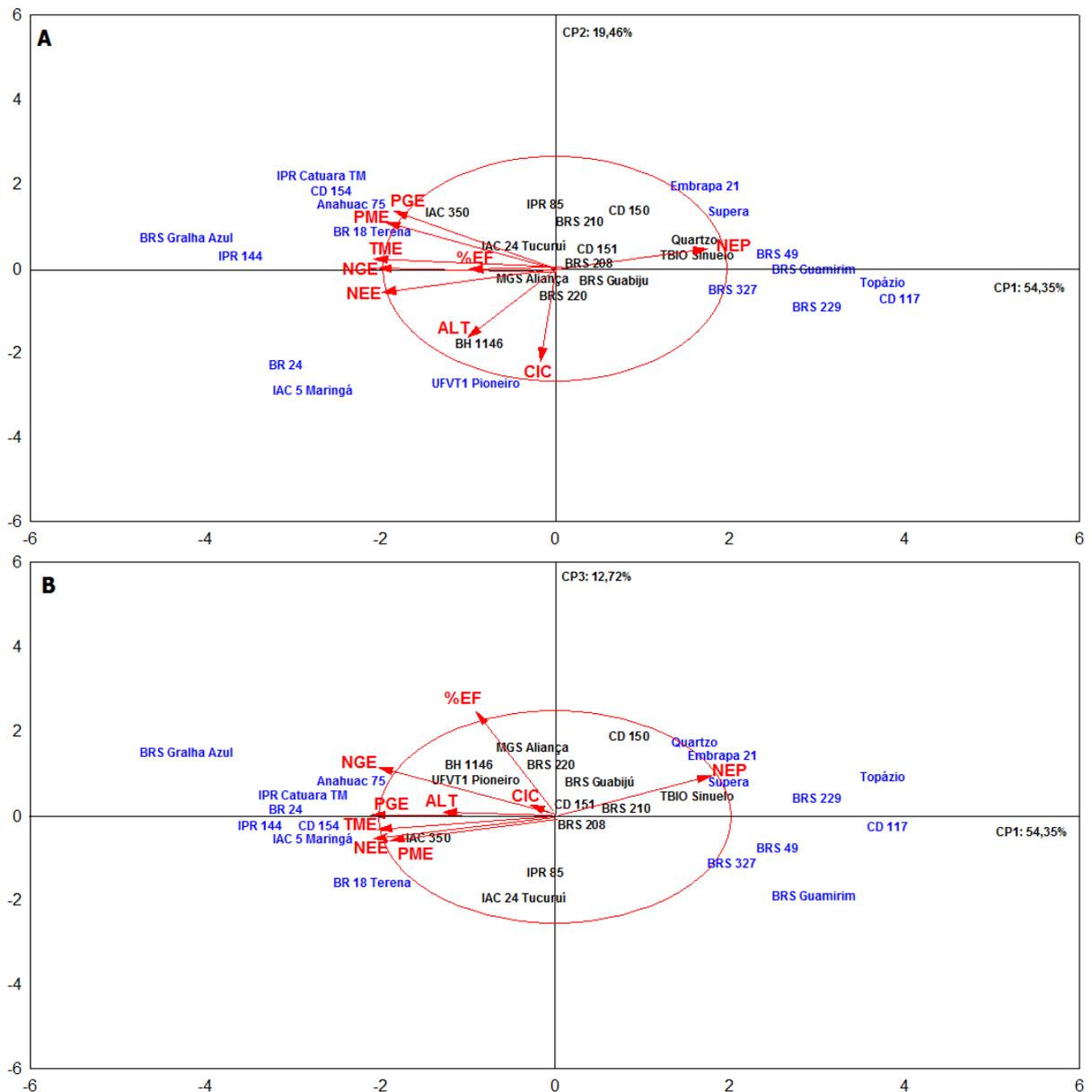


Figura 17. Gráfico biplot com dispersão dos genótipos de trigo no ambiente Calor (estresse térmico) em função dos componentes principais CP1xCP2 (a) e CP1XCP3 (b) e projeção dos vetores das características: CIC: ciclo; ALT: altura das plantas; NEP: número de espigas por planta; NEE: número de espiguetas por espiga; NGE: número de grãos por espiga; TME: tamanho de espigas; PGE: peso de grãos por espiga; PME: peso médio de espigas e %EF: porcentagem de espiguetas férteis.

Para o ambiente Seca, a PCA reteve 83,56% da variância contida nas características originais. O CP1 reteve 33,38% da variância e ficou explicado pelas características TME, NEE, %EF e NGE. O CP2 reteve 31,5% e ficou caracterizado

por CIC, PME, PGE e NGE. Por fim, 18,67% da variância ficou retida no CP3, com as características CIC, ALT e PGE. Os valores das correlações das características com os componentes encontram-se na Tabela 11. A Figura 18 apresenta os gráficos formados por CP1 x CP2 (A) e CP1 x CP3 (B).

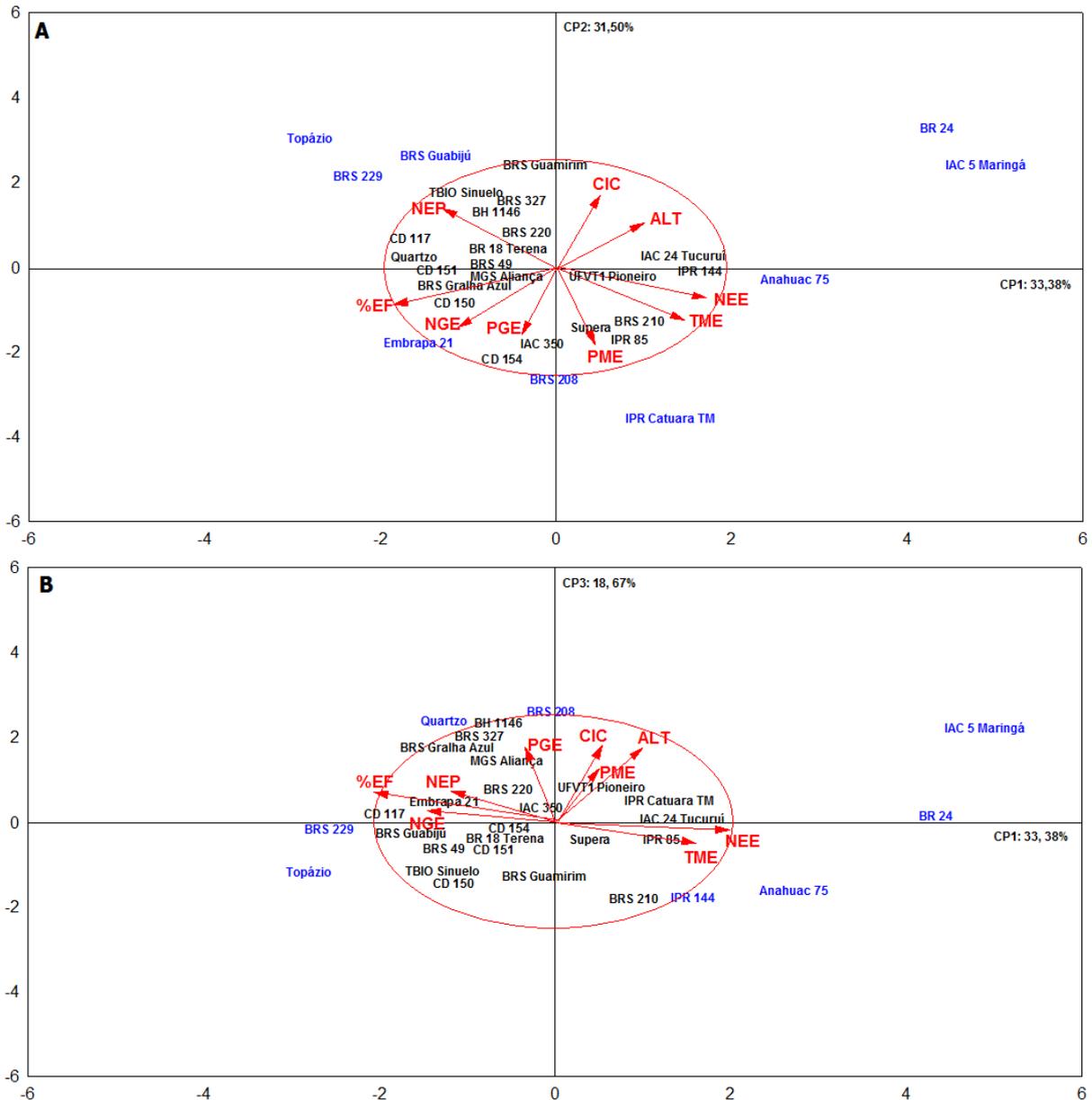


Figura 18. Gráfico biplot com dispersão dos genótipos de trigo no ambiente Seca (estresse hídrico) em função dos componentes principais CP1xCP2 (a) e CP1XCP3 (b) e projeção dos vetores das características: CIC: ciclo; ALT: altura das plantas; NEP: número de espigas por planta; NEE: número de espiguetas por espiga; NGE: número de grãos por espiga; TME: tamanho de espigas; PGE: peso de grãos por espiga; PME: peso médio de espigas e %EF: porcentagem de espiguetas férteis.

Na Figura 18A, o plano caracterizado por CIC, PME, PGE, TME, NEE, %EF e NGE discriminou as cultivares Anahuac 75, IPR Catuara TM, BRS 208, Embrapa 21, BR 24, IAC 5 Maringá, Topázio, BRS Guabiju e BRS 229. As três últimas, posicionadas em quadrantes opostos aos componentes de produção, não são indicadas para estudos visando tolerância à seca, por apresentarem os piores desempenhos. BR 24 e IAC 5 Maringá, apesar de bem posicionadas para NEE, também podem ser caracterizadas pelos seus baixos desempenhos quando leva-se em consideração outras características como CIC, ALT, PGE, %EF e NGE.

No gráfico CP1 x CP3, BRS 208 e Quartzo aparecem como destaque para PGE. Anahuac 75, apesar de selecionada para NEE, apresentou baixo desempenho para PGE, assim como IPR 144.

Nos ambientes Controle e Calor, o componente de maior variância reteve as mesmas variáveis, diferente do ambiente Seca, em que PME e PGE ficaram retidas somente no segundo componente. Isso pode indicar que o estresse hídrico afetou a variabilidade das cultivares para peso de grãos e espigas.

Da mesma maneira, a característica %EF ficou retida logo no primeiro CP no ambiente “Seca”, enquanto no Controle apresentou correlação superior a 0,6 com o CP2, e no Calor, somente com CP3, indicando que a falta de água durante o emborrachamento e a antese afetou a fertilidade das espiguetas, provocando quedas significativas na %EF, aumentando a amplitude e variação das médias. Segundo Salter (1967), a fase mais crítica para a ocorrência de déficit hídrico é durante e imediatamente antes do espigamento, no período compreendido entre a meiose e a liberação das tétrades nas anteras. A segunda fase mais sensível seria durante a antese e a iniciação do grão, quando o estresse causa perda de fertilidade do pólen, morte da espiguetta ou aborto das sementes recém-formadas, decorrente de um declínio na disponibilidade de água nas estruturas reprodutivas (SAINI; LALONDE, 1998). Ambas as fases foram submetidas ao déficit hídrico neste estudo.

Além das análises de componentes principais em cada ambiente, foi realizada também, uma análise contendo as médias das cultivares para os três ambientes conjuntamente. Os três primeiros autovalores explicaram 81,48% da variância, sendo que: CP1 reteve 37,53% de variância e PME, PGE, TME, NEE e NGE apresentaram correlações significativas com o componente; CP2 reteve 23,99% de

variância e ficou explicada por PGE e %EF; e o CP3 reteve 19,97% de variância, explicada por CIC e ALT (Tabela 11). A Figura 19 apresenta os planos bidimensionais formados por CP1 x CP2 (A) e CP1 x CP3 (B).

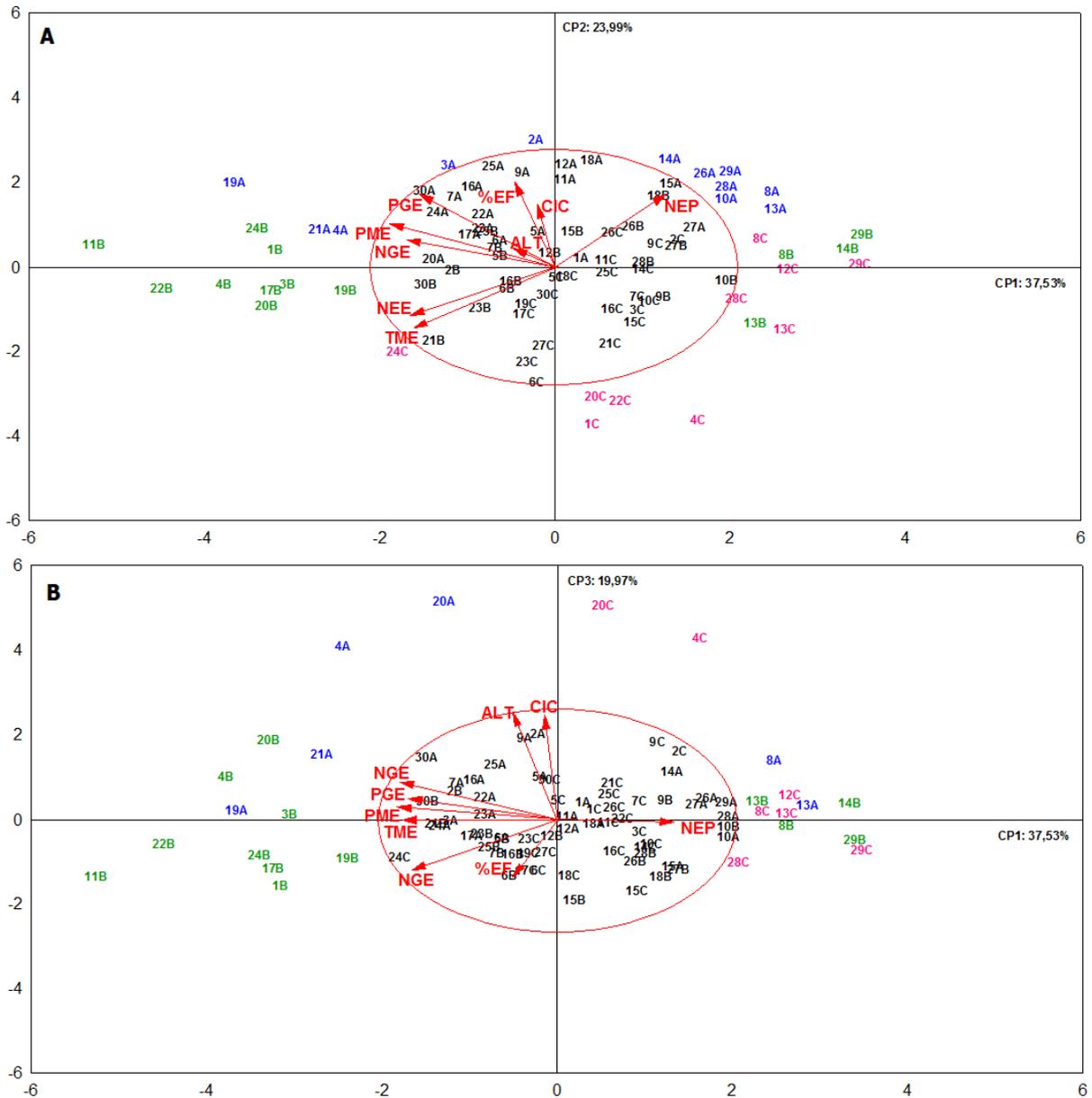


Figura 19. Gráfico biplot com dispersão dos genótipos (A-Controle; B-Calor (estresse térmico); C-Seca (estresse hídrico)) de trigo em todos os ambientes em função dos componentes principais CP1xCP2 (a) e CP1xCP3 (b) e projeção dos vetores das características: CIC: ciclo; ALT: altura das plantas; NEP: número de espigas por planta; NEE: número de espiguetas por espiga; NGE: número de grãos por espiga; TME: tamanho de espigas; PGE: peso de grãos por espiga; PME: peso médio de espigas e %EF: porcentagem de espiguetas férteis.

Nota-se que um maior número de cultivares foi discriminada no ambiente Calor (letra B, cor verde) para as características PME, PGE, TME, NEE e NGE, sendo elas: BRS Gralha Azul (11), IPR 144 (22), IPR Catuara TM (24), BR 24 (4), Anahuac 75 (1), BR 18 Terena (3), CD 154 (17), IAC 5 Maringá (20) e IAC 350 (19) (Figura 19A).

O ambiente Controle (letra A, cor azul) discriminou as cultivares BH 1146 (2), BR 18 Terena (3), BR 24 (4), IAC 350 (19) e IAC 24 Tucuruí (21) para as características %EF, PGE, PME e NGE. O ambiente Seca (letra C, cor rosa), apenas a cultivar IPR Catuara TM por conta de TME (Figura 19A).

No lado direito do gráfico (Figura 19A), nota-se uma aglomeração de cultivares do ambiente Controle ao redor de NEP; algumas cultivares dos ambientes Calor e Seca, opostas aos vetores dos componentes de produção; e no quadrante inferior uma concentração maior de cultivares no ambiente Seca, indicando que o estresse hídrico provocou quedas mais acentuadas na produção de grãos e porcentagem de espiguetas férteis, características retidas no CP2. Essas cultivares não são indicadas para seleção por apresentarem os mais baixos desempenhos produtivos, sendo que as cultivares BRS 229 (8), BRS Guamirim, (13), e Topázio (29) apresentaram baixas médias independente do ambiente em que foram cultivadas.

Para o CP3 (Figura 19B), explicado pelas características CIC e ALT, pode-se observar que BR 24 e IAC 5 Maringá aparecem discriminadas em todos os ambientes como cultivares com as médias superiores, devendo ser descartadas se o objetivo são plantas de ciclos curtos e baixa estatura. As cultivares situadas no quadrante inferior esquerdo são as mais indicadas para seleção no ambiente Calor por reunirem os melhores desempenhos produtivos aliados a ciclo mais precoce e menor altura.

As cultivares BRS 210, BRS 220, CD 151, IPR 85 e MGS Aliança não apresentaram extremos em nenhum dos ambientes avaliados. Topázio foi a única cultivar avaliada que é indicada para a região tritícola 1, adaptada a temperaturas mais baixas, o que explica o baixo desempenho produtivo desta cultivar nos experimentos realizados.

4.3.2. Análise de agrupamento

O método de agrupamento hierárquico de Ward mostrou a formação de cinco grupos para o ambiente Controle a partir do corte efetuado no ponto em que foram observadas mudanças bruscas de nível, conforme recomendado por Cruz (1990) (Figura 20).

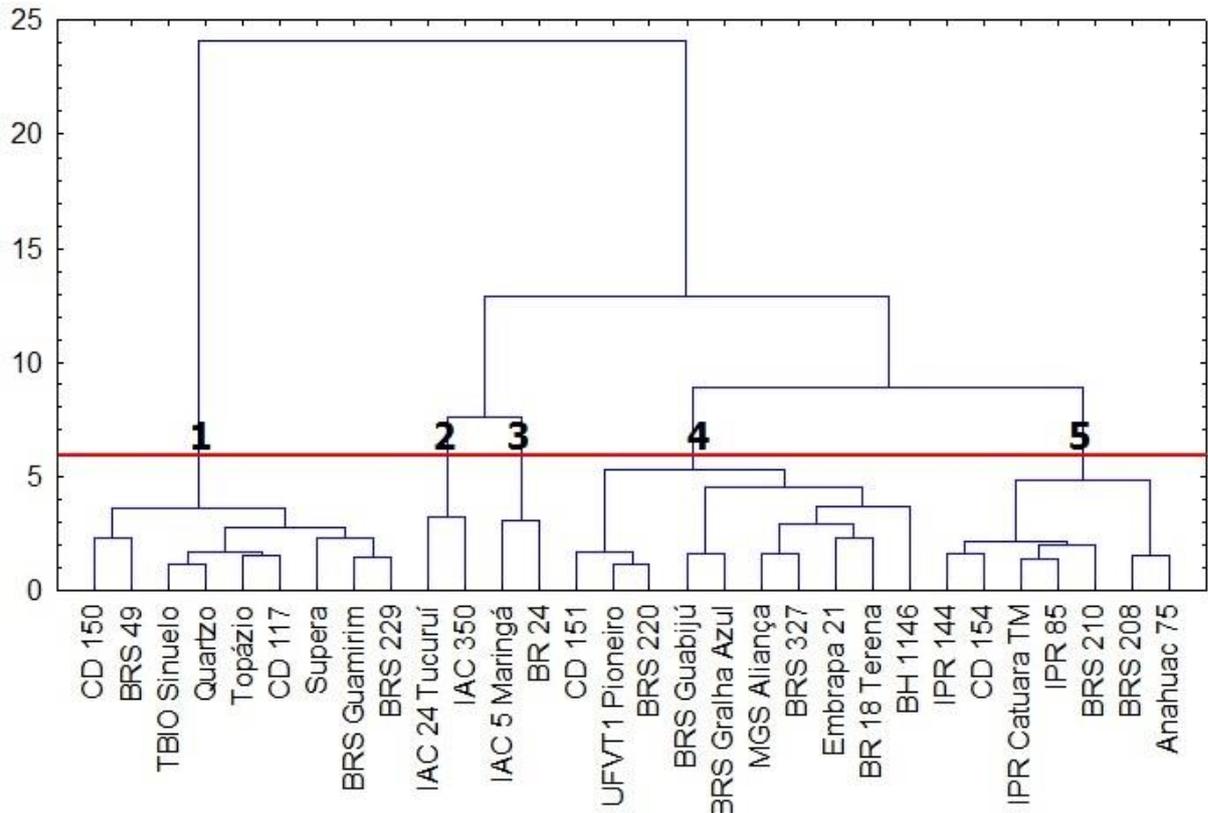


Figura 20. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico utilizando a distância Euclidiana e método de aglomeração de Ward para cultivares de trigo no ambiente Controle.

A partir do número de grupos formados pelo dendrograma obtido pelo método de Ward, procedeu-se a análise “K-means”, buscando a melhor solução na formação dos grupos. Segundo Ferraud (2010), a habilidade de refinamento dos métodos não hierárquicos permite a obtenção de resultados mais satisfatórios do que aqueles obtidos por um método individualmente. O gráfico “K-means” para o ambiente Controle pode ser verificado na Figura 21.

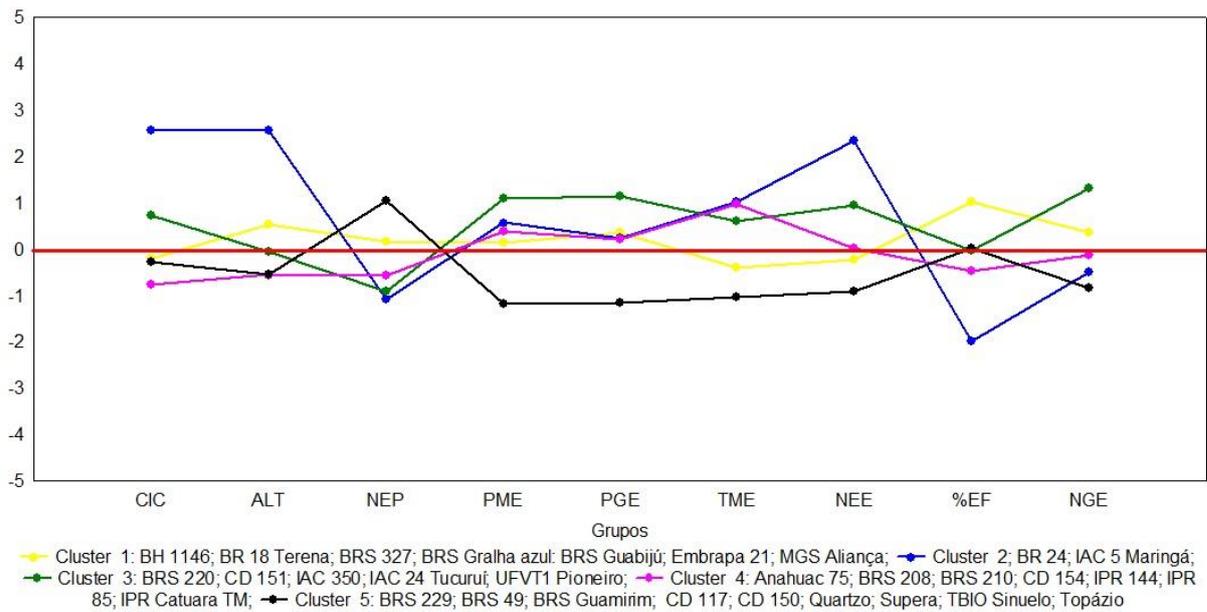


Figura 21. Gráfico do perfil da distribuição do centroide dos grupos da análise de agrupamento por “K-means” formados a partir das características: CIC: ciclo; ALT: altura das plantas; NEP: número de espigas por planta; NEE: número de espiguetas por espiga; NGE: número de grãos por espiga; TME: tamanho de espigas; PGE: peso de grãos por espiga; PME: peso médio de espigas e %EF: porcentagem de espiguetas férteis; para cultivares de trigo no ambiente Controle.

Observa-se que o grupo 3, representado pela linha verde, destacou-se sozinho para três características relacionadas a produção: PME, PGE e NGE. Também ficou acima da média para TME e NEE e está na média para %EF (Figura 21). Este grupo é formado pelas cultivares BRS 220, CD 151, UFVT1 Pioneiro, IAC 350 e IAC 24 Tucuruí, sendo que as duas últimas foram discriminadas pela PCA. Entretanto, esse grupo também ficou acima da média para a característica CIC.

O grupo 1, representado pela linha amarela, apresentou comportamento próximo a média para todos caracteres, exceto para %EF, no qual foi destaque. O grupo 4 (linha rosa), além de apresentar ciclo e altura abaixo da média, manteve-se acima dela para os componentes de produção. O grupo 2 (linha azul), apesar de acima da média para PME, PGE, TME e NEE, apresentou a maior taxa de infertilidade de espiguetas e também foi muito acima da média para ciclo e altura. O último grupo, ilustrado pela linha preta, apresentou o pior desempenho, e é formado pelas mesmas cultivares discriminadas na PCA como pouco produtivas (Figura 21).

Para o ambiente Calor, o método de Ward também permitiu a formação de cinco grupos (Figura 22).

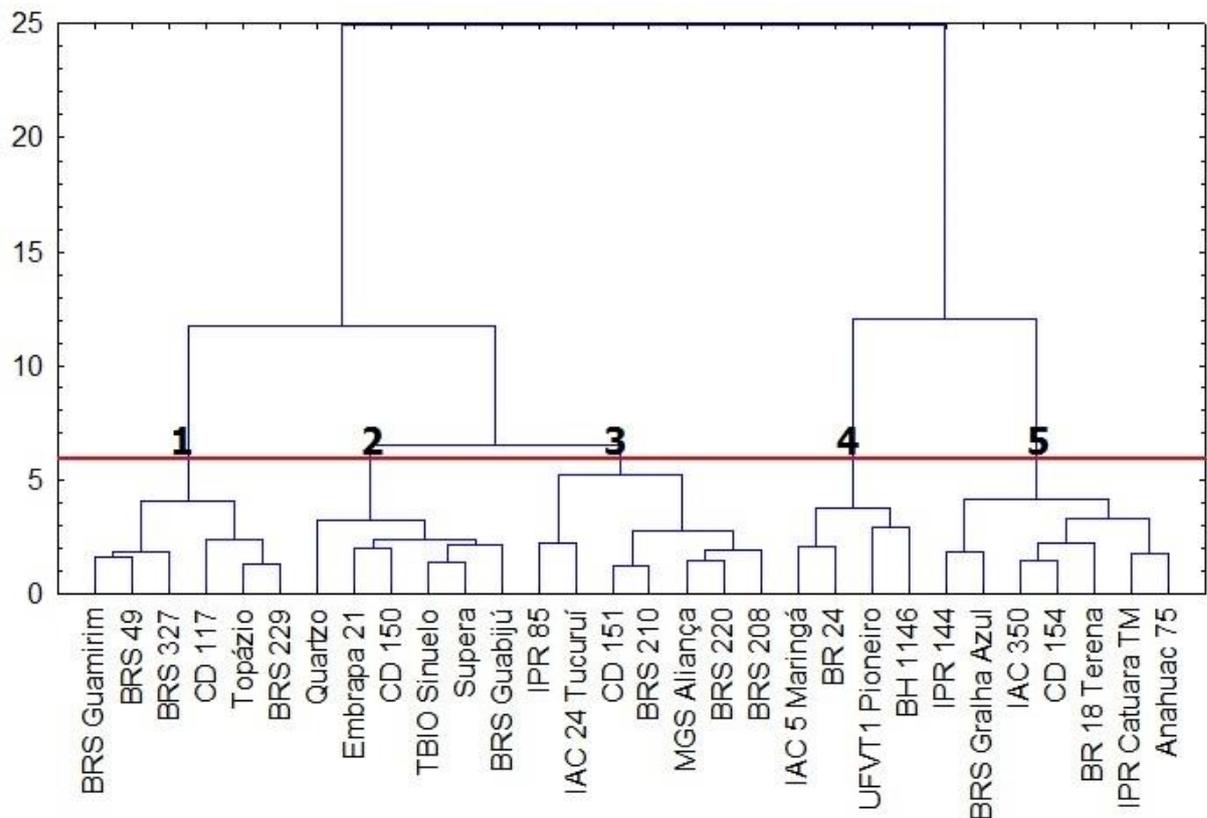


Figura 22. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico utilizando a distância Euclidiana e método de aglomeração de Ward para cultivares de trigo no ambiente Calor (estresse térmico).

Na Figura 23, nota-se que o “K-means” destacou o grupo 5, designado pela linha preta, para os componentes de produção, sendo formado pelas cultivares Anahuac 75, BR 18 Terena, BRS Gralha Azul, CD 154, IAC 350, IPR 144 e IPR Catuara TM, selecionadas também pela PCA, evidenciando a concordância entre os métodos. O grupo 4, representado pela linha rosa e formado por BR 24 e IAC 5 Maringá também ficaram acima da média para os componentes de produção, entretanto são acompanhadas pelas médias indesejáveis de ciclo e altura.

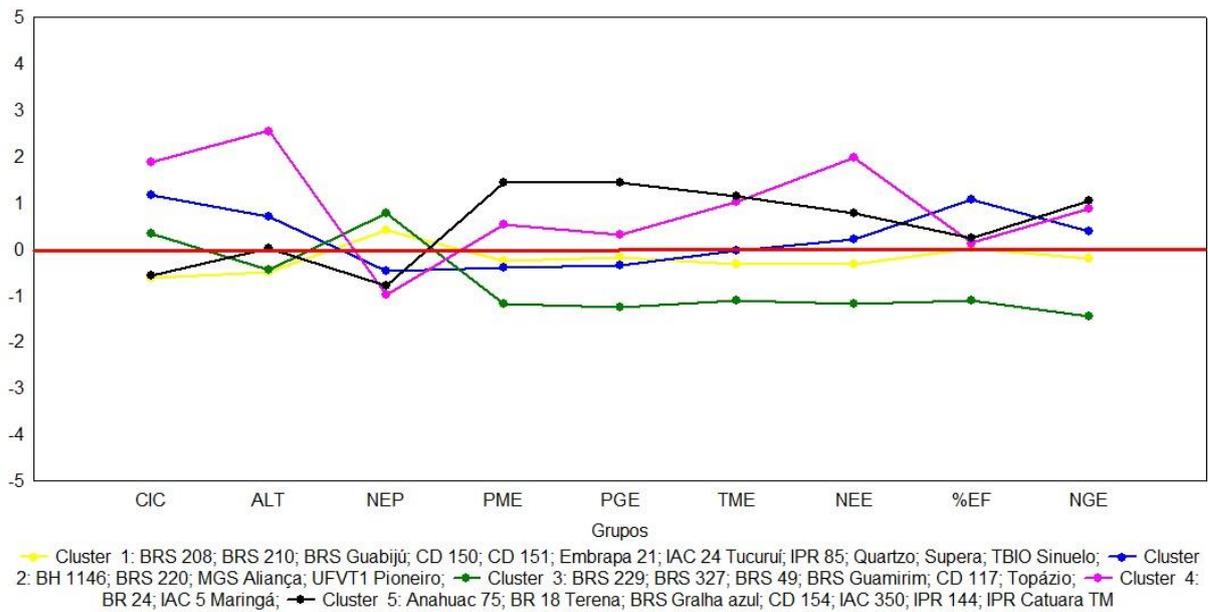


Figura 23. Gráfico do perfil da distribuição do centroide dos grupos da análise de agrupamento por “K-means” formados a partir das características: CIC: ciclo; ALT: altura das plantas; NEP: número de espigas por planta; NEE: número de espiguetas por espiga; NGE: número de grãos por espiga; TME: tamanho de espigas; PGE: peso de grãos por espiga; PME: peso médio de espigas e %EF: porcentagem de espiguetas férteis; para cultivares de trigo no ambiente Calor (estresse térmico).

O grupo 2 (linha azul) formado por BH 1146, BRS 220, MGS Aliança e UFVT1 Pioneiro, apresentou melhor desempenho para %EF, entretanto isso não refletiu nos componentes de produção, além de também estarem acima da média para ciclo e altura. O grupo 1 (linha amarela) manteve-se próximo a média para todas as características e o grupo 3, composto pelas cultivares BRS 229, BRS 327, BRS 49, BRS Guamirim, CD 117 e Topázio, apresentou o pior desempenho (Figura 23).

Para o ambiente Seca, o agrupamento obtido pelo método hierárquico de Ward permitiu a separação das cultivares de trigo em sete grupos. O dendrograma pode ser observado na Figura 24.

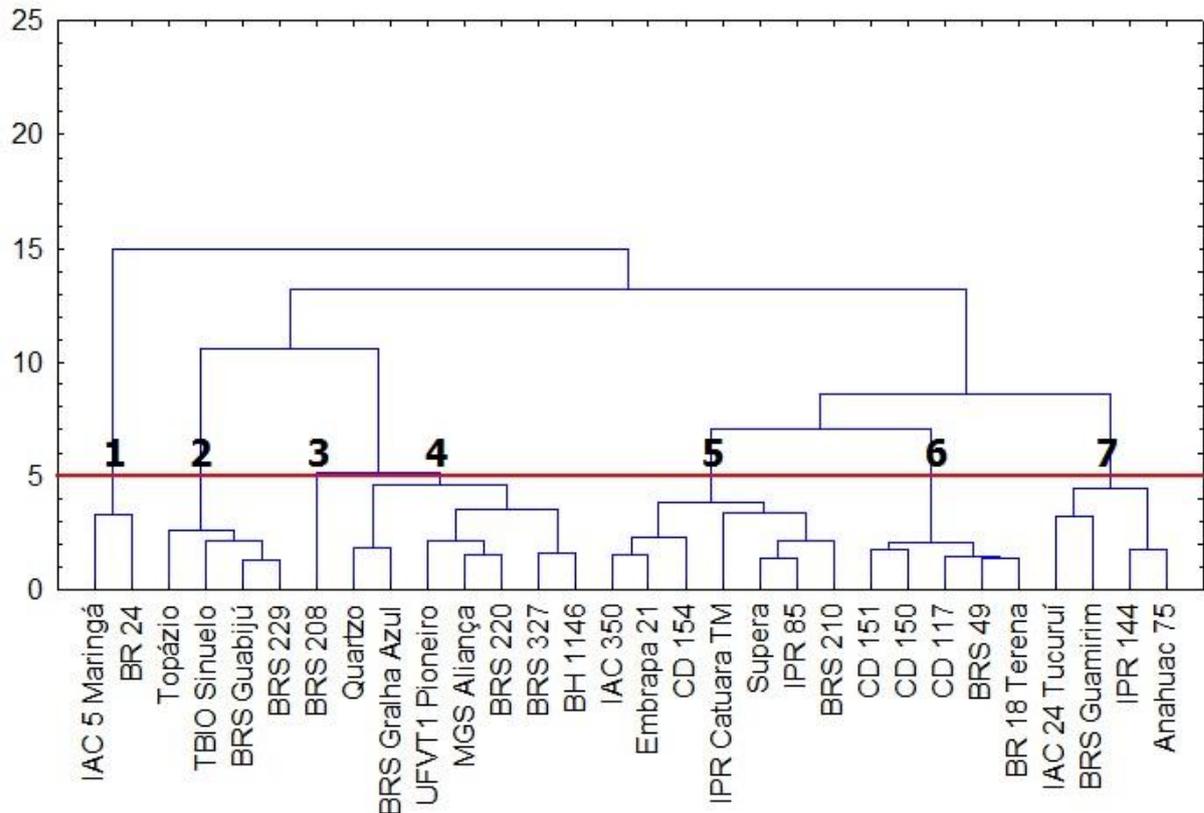


Figura 24. Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico utilizando a distância Euclidiana e método de aglomeração de Ward para cultivares de trigo no ambiente Seca (estresse hídrico).

No gráfico obtido pelo método não hierárquico “K-means” para o ambiente Seca (Figura 25), nota-se que o grupo 3, representado pela linha verde e formado pelas cultivares BRS 208, IAC 350 e Embrapa 21 destacou-se para características importantes como PME, PGE e %EF. O grupo 4 (linha rosa) também apresentou bons resultados, ficando acima da linha da média em todos os caracteres de produção, além de reunir características desejáveis de ciclo mais precoce e baixa estatura de plantas, assim como o grupo 3. O grupo 2 (linha azul) também posicionou-se acima da média para a maioria dos caracteres de produção, entretanto está acima da média também para CIC e ALT.

O grupo 1, ilustrado pela linha amarela, manteve-se próximo a linha da média. O grupo 5 (linha preta), apesar de reunir algumas características interessantes, como CIC e ALT abaixo da média e destaque para TME e NEE, apresentou um dos piores desempenhos para PGE, %EF e NGE. O grupo 6 (linha laranja) apresentou

as piores médias para a maioria dos componentes de produção, e o grupo 7 (linha verde-água), representou o pior grupo para %EF, NGE, CIC e ALT (Figura 25).

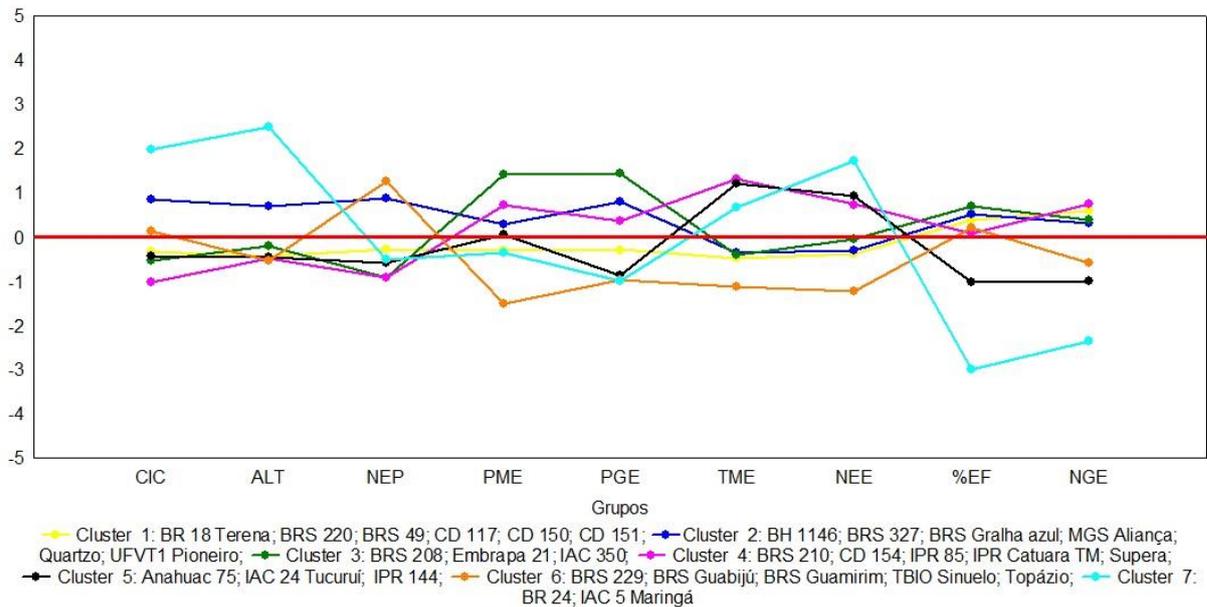


Figura 25. Gráfico do perfil da distribuição do centroide dos grupos da análise de agrupamento por “K-means” formados a partir das características: CIC: ciclo; ALT: altura das plantas; NEP: número de espigas por planta; NEE: número de espiguetas por espiga; NGE: número de grãos por espiga; TME: tamanho de espigas; PGE: peso de grãos por espiga; PME: peso médio de espigas e %EF: porcentagem de espiguetas férteis; para cultivares de trigo no ambiente Seca (estresse hídrico).

A análise de agrupamento é bastante utilizada no melhoramento genético de plantas, pois permite a classificação de indivíduos em grupos, a fim de maximizar a homogeneidade dentro e a heterogeneidade entre os grupos. Sendo assim, esta análise torna-se importante para a manutenção da variabilidade genética a partir de cruzamentos de grupos geneticamente divergentes, representando uma importante estratégia para obtenção de genótipos superiores e conseqüentemente para alcançar maiores ganhos com a seleção (SILVA, 2015). De acordo com os resultados obtidos, observa-se que as análises por componentes principais, “K-means” e agrupamento hierárquico, podem ser utilizadas como ferramentas complementares na seleção de genótipos superiores em programas de melhoramento genético.

5. CONCLUSÕES

- As correlações genéticas e fenotípicas entre os caracteres de produção foram afetadas no ambiente Seca (estresse hídrico) quando comparadas com o ambiente Calor (estresse térmico) e Controle.

- A característica número de espigas por planta correlacionou-se negativamente com os outros caracteres de produção avaliados, em todos os ambientes.

- A fertilidade das espiguetas foi mais afetada pelo estresse hídrico do que pelo térmico.

- No ambiente Calor (estresse térmico), as cultivares em destaque foram IPR Catuara TM, BRS Gralha Azul, Anahuac 75, IPR 144, apresentando bons desempenhos em cultivo irrigado.

- No ambiente Seca (estresse hídrico), as cultivares BRS 208, Quartzo, e Embrapa 21 apresentaram boa produção de grãos e alta fertilidade de espiguetas, mostrando bom potencial produtivo em condições de sequeiro.

- Para fins de fonte de tolerância aos estresses estudados, não recomenda-se a utilização das cultivares: BRS 229 e Topázio, por estarem presentes nos grupos de baixa produtividade em todos os ambientes e BRS 327 pela dificuldade de mudar do estágio vegetativo para o estágio reprodutivo.

6. REFERÊNCIAS

ABITRIGO, Associação Brasileira da Indústria do Trigo. **Brasil – importação de trigo 2017** (por país). Disponível em: <www.abitrigo.com.br/associados/arquivos/importacao_trigo.pdf>. Acesso em: 03 de março de 2017.

ACEVEDO, E.; NACHIT, M.; FERRARA, G. O. Effects of heat stress on wheat and possible selection tools for use in breeding for tolerance. In: International Conference Wheat for the Non-traditional Warm Areas. Foz do Iguaçu, **Proceedings...** Mexico: CIMMYT, 1991. p. 401-421.

ACUÑA-GALINDO, M. A.; MASON, R. E.; SUBRAMANIAN, N. K.; HAYS, D. B. Meta-analysis of wheat QTL regions associated with adaptation to drought and heat stress. **Crop Science**, Vol. 55 No. 2, p. 477-492, 2014.

AL-KARAKI, G. N. Phenological development-yield relationships in durum wheat cultivars under late-season high-temperature stress in a semiarid environment. **ISRN Agronomy**, v.2012, 7p., 2012.

ASSAD, M. T.; PAULSEN, G. M. Genetic changes in resistance to environmental stresses by U.S. great plains wheat cultivars. **Euphytica**, v.128, p.87-96, 2002.

ASSENG, S.; VAN HERWAARDEN, A. F. Analysis of the benefits to wheat yield from assimilates stored prior to grain filling in a range of environments. **Plant and soil**, 256(1) 217-229, 2003.

BÄNZIGER, M.; EDMEADES, G. O.; BECK, D.; BELLON, M. Breeding for drought and nitrogen stress tolerance in maize. **CIMMYT Special Publication**. Mexico, D.F.: CIMMYT 68p. 2000.

BENIN, G.; SILVA, G. O.; PAGLIOSA, E. S.; LEMES, C.; SIGNORINI, A.; BECHE, E.; CAPELIN, M. A. Capacidade de combinação em genótipos de trigo estimada por meio de análise multivariada. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.44, n.9, p. 1145-1151, 2009.

BENNANI, S.; NSARELLAH, N.; BIROUK, A.; OUABBOU, H.; TADESSE, W. Effective selection criteria for screening drought tolerant and high yielding bread wheat genotypes. **Universal journal of agricultural research** 4:134-142, 2016.

BLUM, A.; KLUEVA, N.; NGUYEN, H. T. Wheat cellular thermotolerance is related to yield under heat stress. **Euphytica** 117:117-123, 2001.

BRAGAGNOLO, C.; SBRISSIA, G. F.; MAFIOLETTI, R. L. Triticultura brasileira - desafios e perspectivas. In: **AGRIANUAL – Anuário da Agricultura Brasileira**. São Paulo: Agra FNP – Instituto FNP, 2007.

BRAMMER, S. P.; SCAGLIUSI, S. M. M.; LAU, E.Y. Biotecnologia. In: **Trigo: o produtor pergunta, a Embrapa responde** / Claudia De Mori ... [et al.], editores técnicos – Brasília, DF: Embrapa, 2016.

BUENO, L. C. S.; MENDES, A. N. G.; CARVALHO, S. P. **Melhoramento de plantas: princípios e procedimentos**. Lavras: UFLA, p. 319, 2006.

CAIERÃO, E.; SCHEEREN, P. L.; CASTRO, R. L.; SÓ E SILVA, M. Origem, evolução e melhoramento genético. In: **Trigo: o produtor pergunta, a Embrapa responde** / Claudia De Mori ... [et al.], editores técnicos – Brasília, DF: Embrapa, 2016.

CAMARGO, C. E. O.; FERREIRA FILHO, A. W. P.; FELICIO, J. C. Herdabilidade e correlações entre características agrônômicas em populações híbridas de trigo. **Bragantia**, 57(1), 1998.

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, ago., 2006.

CAVATTE, P. C.; MARTINS, S. C. V.; MORAIS, L. E.; SILVA, P. E. M.; SOUZA, L. T.; DAMATTA, F. M. A fisiologia dos estresses abióticos. In: **Melhoramento de Plantas para condições de estresses abióticos** / Roberto Fritsche-Neto, Aluizio Borém. Visconde do Rio Branco: Suprema, cap. 3, p. 39-79. 2011.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acomp. Safra Bras. Grãos, v.4** - Safra 2016/17, Décimo Primeiro Levantamento, Brasília, p. 1-171, agosto 2017. – Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 02 de setembro. 2017.

CONDÉ, A. B. T.; ANDRADE, A. T.; MARTINS, F. A. D.; SOBRINHO, J. S.; MORESCO, E. R.; CAIXETA, C, G. **Trigo de sequeiro: potencialidades**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.34, n. 274, p.24-29, junho 2013. Bimestral. 2013a.

CONDÉ, A. B. T.; MORESCO, E. R.; MARTINS, F. A. D.; ANDRADE, A. T. **Trigo irrigado: potencialidades**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.34, n. 274, p.19-23, junho 2013. Bimestral. 2013b.

CRUZ, C. D. **Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas**. 1990. 188 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 1990.

CRUZ, C. D. **Programa Genes: versão Windows; aplicativo computacional em genética e estatística**. Viçosa: UFV, 648p. 2001.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v. 2, 3. ed. Viçosa: UFV, p. 668, 2014.

CRUZ, C. D.; FERREIRA, F. M.; PESSONI, L. A. **Biometria aplicada ao estudo da diversidade genética**. Visconde do Rio Branco: Suprema, p. 620. 2011.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3.ed. Viçosa:UFV, 480p. 2004.

CUNHA, G. R. da; SCHEEREN, P. L.; PIRES, J. L. F.; MALUF, J. R. T.; PASINATO, A.; CAIERÃO, E.; SÓ E SILVA, M.; DOTTO, S. R.; CAMPOS, L. A.C.; FELÍCIO, J. C.; CASTRO, R. L. de; MARCHIORO, V.; RIEDE, C. R.; ROSA FILHO, O.; TONON, V. D.; SVOBODA, L. H. **Regiões de adaptação para trigo no Brasil**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 10 p. html. (Embrapa Trigo. Circular Técnica Online, 20). Disponível: http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/ci/p_ci20.htm. Acesso em: 18 de agosto de 2017.

CUNHA, G. R.; PASINATO, A.; PIRES, J. L. F.; DALMAGO, G. A.; SANTI, A.; GOUVÊA, J.A. Bioclimatologia e zoneamento agrícola. In: **Trigo: o produtor pergunta, a Embrapa responde** / Claudia De Mori ... [et al.], editores técnicos – Brasília, DF: Embrapa, 2016.

DE MORI, C. Aspectos comerciais e econômicos do trigo. In: **Trigo: o produtor pergunta, a Embrapa responde** / Claudia De Mori ... [et al.], editores técnicos– Brasília, DF: Embrapa, 2016.

DE MORI, C.; SÓ E SILVA, M. **Panorama da triticultura no Brasil e em Minas Gerais**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.34, n. 274, p.7-18, junho 2013. Bimestral.

DENYER, K.; HYLTON, C. M.; SMITH, A. M. The effect of high temperature on starch synthesis and the activity of starch synthase. **Australian journal of plant physiology**, 21, p.783-789, 1994.

DIAS, A. S.; BAGULHO, A. S.; LIDON, F. C. Ultrastructure and biochemical traits of bread and durum wheat grains under heat stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, 20 (4), 323-333, 2008.

DOLFERUS, R.; JI, X.; RICHARDS, R. A. Abiotic stress and control of grain number in cereals. **Plant science**, v. 181, p. 331-341, 2011.

FAROOQ, M.; BRAMLEY, H.; PALTA, J. A. Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. **Critical reviews in plant sciences** 30: 491-507, 2011.

FERRAUDO, A. S. **Técnicas de análise multivariada – uma introdução**. Apostila. Jaboticabal. 2010. 72p.

FERREIRA, D. F. Estatística Multivariada. 2. ed. Lavras: UFLA, 2011. p. 676.

FISCHER, R. A. Number of kernels in wheat crop and the influence of solar radiation and temperature. **Journal of Agricultural Science**, London, v. 105. p. 147-161, 1985.

FISCHER, R. A. The effect of. water stress at various stages of development on yield processes in wheat. **The 1973 Unesco Congress**. The Sun in The Service of Mankind: Global Renewable Energy Implementation, Paris, pp. 233-241, 1973.

FONSECA, S.; PATTERSON, F. L. Yield components, heritabilities and interrelationships in winter wheat. (*Triticum aestivum* L.). **Crop Science**, 8:614-617, 1968.

FORNASIERI FILHO, D. **Manual da cultura do trigo**. Funep, Jaboticabal, 2008, 338p.

FRONZA, V.; SOUZA, M. A.; MOLINA, R. M. S.; YAMANAKA, C. H. Trigo (*Triticum aestivum* L.) In: PAULA JUNIOR, T. J. VENZON, M. (Ed.). **101 culturas: manual de tecnologias agrícolas**. Belo Horizonte, EPAMIG, 2007, p. 751-762.

GOMES, C. N.; CARVALHO, S. P.; JESUS, A. M. S.; CUSTÓDIO, T. N. Caracterização morfoagronômica e coeficientes de trilha de caracteres componentes da produção em mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.8, p.1121-1130, 2007.

GUARIENTI, E. M.; CIACCO, C. F.; CUNHA, G. R.; DEL DUCA, L. J. A.; CAMARGO, C. M. O. Avaliação do efeito de variáveis meteorológicas na qualidade industrial e no rendimento de grãos de trigo pelo emprego de análise de componentes principais. **Ciênc. Tecnol. Aliment.** 23(3): 500-510, 2003.

HAIR, J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHUAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre, Artmed Editora S. A. 2005. p. 593.

HAIR, J. F.; BLACK, W.; BABIN, B.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de dados**. Editora Bookman, Porto Alegre, 6ª ed., 2009. p. 688.

HALL, A. E. The mitigation of heat stress. In: **Plant Stress**. Ed A Blum. http://www.plantstress.com/Articles/heat_m/heat_m.htm 2003. Acesso em: 18 de agosto de 2017.

HARTWIG, I.; CARVALHO, F. I. F.; OLIVEIRA, A. C.; VIEIRA, E. A.; SILVA, J. A. G.; BERTAN, I.; RIBEIRO, G.; FINATTO, T.; REIS, C. E. S.; BUSATO, C. C. Estimativa de coeficientes de correlação e trilha em gerações segregantes de trigo hexaplóide. **Bragantia**, 66 (2), 203-218, 2007.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 5. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 767p.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v. 23, p. 187-200, 1958.

LAWLOR, D. W.; DAY, W.; JOHNSTON, A. E.; LEGG, B. J.; PARKINSON, K. J. Growth of spring barley under drought: crop development, photosynthesis, dry-matter accumulation and nutrient content, **Journal of Agricultural Science**, vol. 96 (pg. 167-186), 1981.

LEVITT, J. **Response of plants to environmental stress**. II: Water radiation, salt and other stress. New York: Academics Press, 1980. 606 p.

LOPES, N. F.; LIMA, M. G. S. Fisiologia do estresse vegetal. In:_____. **Fisiologia da produção**. Viçosa, Editora UFV, 2015, 482p.

MACHADO, J. C.; SOUZA, M. A.; OLIVEIRA, D. M. Recurrent selection as breeding strategy for heat tolerance in wheat. **Crop breeding and applied biotechnology** 10: 9-15, 2010.

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**, Vol. 55 No. 4, p. 1552-1562, 2015.

MORESCO, E. R.; ALBRECHT, J. C.; SOBRINHO, J. S.; CARGNIN, A.; SÓ e SILVA, M. **Estratégias de melhoramento para o trigo tropical**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.34, n. 274, p.40-43, junho 2013. Bimestral.

MUNIZ, C. A. S. D.; QUEIROZ, S. A.; MASCIOLI, A. S.; ZADRA, L. E. F. Análise de componentes principais para características de crescimento em bovinos de corte. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 3, p.1569-1576, 2014.

MUSICK, J. I.; DUSCK, D. A. Planting date and water deficit effects on development and yield of irrigated winter wheat. **Agronomy Journal**, 72: 45-52. 1980.

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** 70(1):25-32, 2011.

PINTO, R. S.; REYNOLDS, M. P. Common genetic basis for canopy temperature depression under heat and drought stress associated with optimized root distribution in bread wheat. **Theoretical and Applied Genetics**, Vol. 128, n.4, p. 575-585, 2015.

PITTA, R. M.; BOIÇA JR, A. L.; JESUS, F.; TAGLIARI, S. R. A. Seleção de genótipos resistentes de amendoineiro a *Anticarsia gemmatilis* hübner (Lepidoptera: Noctuidae) com Base em Análises Multivariadas. **Neotropical Entomology** ,v. 39, n. 2, p. 260-265, 2010.

POEHLMAN, J. M.; SLEPER, D. A. **Breeding field crops**. Ames: Iowa State University Press. 1995. 494p.

RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; PINTO, C. A. B. P.; SOUZA, E. A.; GONÇALVES, F. M. A.; SOUZA, J. C. Ligação, permuta genética e pleiotropia. In:_____. **Genética na agropecuária**. Lavras, Editora UFLA, 565p. 2012.

RIBEIRO JÚNIOR, W. Q.; RAMOS, M. L. G.; VASCONCELOS, U.; TRINDADE, M. da G.; FERREIRA, F. M.; SIQUEIRA, M. M. H.; SILVA, H. L. M. da.; RODRIGUES, G. C.; GUERRA, A. F.; ROCHA, O. C.; AMÁBILE, R. F.; ALBUQUERQUE, A. C.; SÓ E SILVA, M.; ALBRECHT, J. C.; DURÃES, F. O. M. **Fenotipagem para tolerância à seca visando o melhoramento genético do trigo no cerrado**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2006. 24p. (Embrapa Trigo. Circular Técnica, 21). Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/ci/p_ci21.htm>. Acesso em 15 de março de 2017.

RIBEIRO, G. **Estratégia de melhoramento para tolerância ao estresse de calor em trigo**. 2012. 59 f. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

RODRIGUES, O.; LHAMBY, J. C. B.; DIDONET, A. D.; MARCHESE, J. A.; SCIPIONI, C. Efeito da deficiência hídrica na produção de trigo. **Pes. Agropec. Bras.**, Brasília, v.33, n.6, p.839-846, 1998.

RODRIGUES, O.; TEIXEIRA, M. C. C.; COSTENARO, E. R.; SANA, D. Ecofisiologia de trigo: bases para elevado rendimento de grãos. In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da (Ed.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. Cap. 5, p. 115-134.

SAINI, H. S.; LALONDE, S. L. Injuries to reproductive development under water stress, and their consequences for crop productivity. **Journal of crop production** 1:223.248, 1998.

SALTER, P. J. Cereals. In: SALTER, P.J.; GOODE, J.E. Crop responses to water at different stages of growth. Farnham, **Commonwealth Agricultural Bureau**, 1967. p. 15-48.

SANTOS, J.; VENCOSKY, R. Correlação fenotípica e genética entre alguns caracteres agrônômicos do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Prática**, v.10, p.265-272, 1986.

SARTORIO, S. D. **Aplicações de técnicas de análise multivariada em experimentos agropecuários usando o software R**. 2008. 130f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

SAS. **STATISTICAL ANALYSES SYSTEM**. Institute Inc. The SAS System, release 9.3. Cary: NC, 2011.

SCHEEREN, P. L.; CAIERÃO, E.; SÓ E SILVA, M.; BONOW, S. Melhoramento de trigo no Brasil In: PIRES, J. L. F.; VARGAS, L.; CUNHA, G. R. da (Ed.). **Trigo no Brasil: bases para produção competitiva e sustentável**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2011. Cap. 17, p. 427-452.

SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A Cluster Analysis Method for Grouping Means in the Analysis of Variance. **Biometrics**, 30: 507–512. 1974.

SHAH, N. H.; PAULSEN, G. M. Interaction of drought and high temperature on photosynthesis and grain-filling of wheat. **Plant and soil**, v.257, p.219-226, 2003.

SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **Afr. J. Agric. Res**, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016. DOI: 10.5897/AJAR2016.11522

SILVA, F. M. **Estratégias de condução de populações segregantes de soja portadoras do gene RR e seleção por meio de análises uni e multivariada.** 2015. 76f. Tese (Doutorado em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas). Unesp, Jaboticabal, 2015.

SILVA, M. A.; SANTOS, C. M.; LABATE, C. A.; GUIDETTI-GONZALEZ, S.; BORGES, J.S.; FERREIRA, L. C.; DELIMA, R. O.; FRITSCHÉ-NETO, R. Melhoramento para eficiência no uso da água. In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. (Eds.) **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos.** Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011, cap. 6, p.127-149.

SLATYER, R. O. Physiological significance of internal water relations to crop yield. J.D. Eastin; F. A. Haskins; C.Y. Sullivan; C.H.M. van Bavel (Eds.), **Physiological Aspects of Crop Yield**, Am. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Am, Madison, Wisc (1969), p. 396

SLEEPER, D. A.; POEHLMAN, J. M. **Breeding field crops.** Ames: Blackwell Pub Iowa, 2006, 424 p.

SÓ E SILVA, M.; SOBRINHO, J. S.; ALBRECHT, J. C.; CHAGAS, J. H. Trigo no Brasil Central. In: **Trigo: o produtor pergunta, a Embrapa responde** / Claudia De Mori ... [et al.], editores técnicos – Brasília, DF: Embrapa, 2016.

SOUZA, M. A.; PIMENTEL, A. J. B. **Estratégias de seleção para melhoramento do trigo com tolerância ao estresse por calor.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.34, n. 274, maio/jun, p. 30-39, 2013.

SOUZA, M. A.; PIMENTEL, A. J. B.; RIBEIRO, G. Melhoramento para tolerância ao calor. In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. (Eds.) **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos.** Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. cap.9. p.199-226.

STATSOFT, Inc. **STATISTICA (data analysis software system)**, version 7. www.statsoft.com. 2004.

STONE, P. J.; NICOLAS, M. E. Wheat cultivars vary widely in their responses of grain yield and quality to short periods of post-anthesis heat stress. **Australian Journal of Plant Physiology**. v. 21:887–900, 1994.

STRECK, N. A. Climate change and agroecosystems: the effect of elevated atmospheric CO₂ and temperature on crop growth, development, and yield. **Ciência Rural**, v.35, p.734-744, 2005.

TAHMASEBI, S.; HEIDARI, B.; PAKNIYAT, H.; MCINTYRE, C. L. Mapping QTLs associated with agronomic and physiological traits under terminal drought and heat stress conditions in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Genome**, 60(1):26-45, 2015.

USDA, United States Department of Agriculture. **Wheat: World Market and trade. 2018.** Disponível em <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain-wheat.pdf>. Acesso em: 16 de fevereiro de 2018.

WAHID A.; GELANI S.; ASHRAF M.; FOOLAD M. R. Heat tolerance in plants: an overview. **Environmental and experimental botany** 61:199-223, 2007.

WARRINGTON, I. J.; DUNSTONE, R. L.; GREEN, L. M. Temperature effects at three developmental stages on yield of the wheat ear. **Australian Journal Agricultural Research.** Victoria v.28, n.1, p. 11-27, 1977.

ZADOKS, J. C.; CHANG, T. T.; KONZAK, C. F. A decimal code the growth stage of cereals. **Weed research**, vol. 14, 415-421, 1974.