

GUILHERME RIBEIRO

**ESTRATÉGIA DE MELHORAMENTO PARA TOLERÂNCIA AO
ESTRESSE DE CALOR EM TRIGO**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2012

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

R484e
2012

Ribeiro, Guilherme, 1983-
Estratégia de melhoramento para tolerância ao estresse de
calor em trigo / Guilherme Ribeiro. – Viçosa, MG, 2012.
iv, 53f. : il. ; 29cm.

Orientador: Moacil Alves de Souza.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Trigo - Melhoramento genético. 2. Trigo - Efeito da
temperatura. 3. Trigo - Rendimento. 4. Trigo - Seleção.
5. Stress (Fisiologia). 6. *Triticum aestivum*. I. Universidade
Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 633.112

GUILHERME RIBEIRO

**ESTRATÉGIA DE MELHORAMENTO PARA TOLERÂNCIA AO
ESTRESSE DE CALOR EM TRIGO**

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

APROVADA: 29 de maio 2012.



Felipe Lopes da Silva



Tocio Sedyama



José Eustáquio de Souza Carneiro
(Coorientador)



Pedro Crescêncio Souza Carneiro
(Coorientador)



Moacil Alves de Souza
(Orientador)

SUMÁRIO

RESUMO	iii
ABSTRACT.....	iv
INTRODUÇÃO GERAL	1
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	13
ARTIGO 1: POTENCIAL DE POPULAÇÕES SEGREGANTES DE TRIGO QUANTO À TOLERÂNCIA AO ESTRESSE DE CALOR.....	18
ARTIGO 2: SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE TRIGO TOLERANTES AO CALOR.	37
CONCLUSÕES GERAIS.....	53

RESUMO

RIBEIRO, Guilherme, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2012. **Estratégia de melhoramento para tolerância ao estresse de calor em trigo.** Orientador: Moacil Alves de Souza. Coorientadores: José Eustáquio de Souza Carneiro e Pedro Crescêncio Souza Carneiro.

A extensão da triticultura para a região dos cerrados do Brasil Central é uma estratégia para aumentar a produção da cultura do trigo. Nessa região o excesso de calor durante o verão constitui um dos principais fatores de redução no potencial produtivo. No presente trabalho estabeleceram os objetivos de identificar populações segregantes promissoras para o desenvolvimento de linhagens com tolerância ao calor em trigo; selecionar genótipos tolerantes ao estresse de calor e estimar o coeficiente de correlação genético entre caracteres estudados com o rendimento de grãos. Foram conduzidos dois experimentos no verão de 2010 e 2011 em Coimbra/MG na Estação Experimental dos Quartéis, pertencente à Universidade Federal de Viçosa (UFV), no verão de 2010 foram avaliadas 36 populações segregantes com número variado de famílias por população, determinando o rendimento de grãos, estatura de planta e ciclo. No verão de 2011 foram avaliadas 217 famílias selecionadas no ano anterior, para as características como estatura de planta, ciclo, rendimento de grãos, depressão da temperatura da folha bandeira e da espiga. Foi verificada a presença de variabilidade genética para tolerância ao calor entre as populações de trigo e entre as famílias selecionadas. As populações segregantes mais promissoras foram IAC364/BRS207, IAC24/Aliança e IAC24/Pioneiro demonstrando possibilidade de seleção de famílias tolerantes ao estresse de calor com elevado potencial produtivo. A seleção de plantas tolerantes ao calor poderá ser realizada com sucesso pela seleção com base na média de rendimento de grãos e também pela seleção indireta via depressão da temperatura da folha bandeira e da espiga.

ABSTRACT

RIBEIRO, Guilherme, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, May, 2012. **Breeding strategy for tolerance to heat stress in wheat.** Adviser: Moacil Alves de Souza. Co-adviser: José Eustáquio de Souza Carneiro and Pedro Crescêncio Souza Carneiro.

The extent of wheat production for the Central Brazil is a strategy to increase production of wheat. In this region the excess heat during the summer is a major factor in reducing yield potential. In the present study established the objective of identifying promising segregating populations for the development of lines with heat tolerance in wheat, selecting genotypes tolerant to heat stress and to estimate the genetic correlation coefficient between characters studied with grain yield. Two experiments were conducted in the summer of 2010 and 2011 in Coimbra / MG at the Experimental Station of Quartéis, belonging to the Universidade Federal de Viçosa (UFV) in the summer of 2010 were evaluated 36 segregating populations with varying number of families per population, determining the yield grain, plant height and cycle. In the summer of 2011 were evaluated 217 families selected in the previous year, for traits such as plant height, cycle, yield, the temperature depression of the flag leaf and ear. The occurrence of genetic variability for heat tolerance among populations of wheat and between selected families. The most promising segregating populations were IAC364/BRS207, IAC24/Aliança IAC24/Pioneiro and demonstrating the possibility of selecting families tolerant to heat stress with high yield potential. Selection of plants tolerant to heat can be successfully accomplished by selection based on the average grain yield and also by indirect selection by depression of the temperature of the flag leaf and ear.

INTRODUÇÃO GERAL

O trigo (*Triticum aestivum* L.) é considerado cereal básico para a civilização e seu cultivo segue paralelamente à história da humanidade. A produção mundial de trigo está em torno das 665 milhões de toneladas nos últimos cinco anos agrícolas, com maior destaque para os principais países produtores como China, Índia e Estados Unidos (USDA, 2012). Por outro lado, entre a lista dos países com as maiores importações, configura o Brasil, com importação em torno 4,55 milhões de toneladas neste período. De acordo com os dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2012), a produção brasileira média nos últimos cinco anos é 5,33 milhões de toneladas, onde foram cultivados no Brasil 2,20 milhões de hectares de trigo com produtividade de grãos de 2.429 kg ha⁻¹.

A produção de trigo no Brasil concentra-se na região Sul, principalmente nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul, responsáveis por 95% da produção nacional. Esta concentração da produção do trigo brasileiro gera um problema na cadeia produtiva do trigo, referente à logística de distribuição e armazenamento dos grãos, uma vez que o consumo se dá ao longo de todo o território nacional e durante todo o ano (BRAGAGNOLO et al., 2007).

A concentração do cultivo do trigo na região sul do Brasil tem consequências acentuadas na estabilização da produção nacional, uma vez que a instabilidade climática, sobretudo a ocorrência de geadas no Paraná, tem proporcionado grande vulnerabilidade no abastecimento de trigo para o consumo brasileiro. Dessa forma, a busca de novas fronteiras agrícolas é uma alternativa para aumentar a produção brasileira e assim, garantir a auto-suficiência.

O cerrado brasileiro, que abrange áreas dos estados de Minas Gerais, Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso e Bahia, surge como uma região estratégica para o desenvolvimento da cultura do trigo, possibilitando a descentralização do cultivo deste cereal da região Sul do país. Outro fator preponderante é a lei do vazio sanitário da soja vigente em toda região, influenciando os agricultores a utilizarem as áreas com outras culturas, como o trigo.

O cultivo do trigo no Brasil Central é cultivado na modalidade de sequeiro, com início da semeadura em fevereiro até a primeira quinzena de março, e trigo irrigado com semeadura em meados de abril até final de maio. No sistema de sequeiro a produtividade média varia de 1,5 a 3,0 t ha⁻¹, com lavouras atingindo até 4,5 t ha⁻¹. O cultivo de sequeiro apresenta a vantagem de menor custo de produção, pois não existe a necessidade de realizar irrigação, uma vez que neste cultivo aproveitam-se as precipitações pluviais do final do período chuvoso. A área potencial para o cultivo de trigo de sequeiro é bastante extensa, podendo chegar a quatro milhões de hectares na região do Cerrado. Entretanto, o excesso de calor constitui o principal fator de redução do potencial produtivo dessa cultura (SOUZA e RAMALHO 2001; CARGNIN et al., 2006), aliado a reduzida disponibilidade de cultivares adaptadas para essa condição de cultivo.

O estresse de calor é um dos maiores estresses abióticos, temperaturas superiores aos 25°C proporcionam perdas significativas no rendimento de grãos além de reduções do ciclo e na estatura. Dessa forma, o sucesso da expansão da cultura do trigo será possível com o desenvolvimento de cultivares com maior tolerância ao calor. Vários trabalhos vêm sendo desenvolvidos visando identificar genótipos tolerantes às elevadas temperaturas e também para identificação de caracteres relacionados com tolerância ao calor (FOKAR et al., 1998; KHANNA-CHOPRA e

VISWANATHAN, 1999; SOUZA, 1999; AYENEH et al., 2002; YANG et al., 2002; SHAH e PAULSEN, 2003; RANE e NAGARAJAN, 2004; CARGNIN et al., 2006; MACHADO et al., 2010).

A existência de variabilidade genética para tolerância ao calor é importante para seleção de genótipos tolerantes ao calor em trigo. A identificação destes genótipos poderá ser realizado com base no comportamento médio do indivíduo, ou do uso da seleção indireta, via correlação, de caracteres agrônômicos ou fisiológicos com o caráter de interesse, geralmente, o rendimento de grãos.

Objetivou-se com este trabalho:

i) identificar populações segregantes promissoras para tolerância ao calor em trigo visando obtenção de linhagens adaptadas às condições do Brasil Central.

ii) identificar genótipos tolerantes ao estresse de calor e estimar o coeficiente de correlação genético entre caracteres estudados com o rendimento de grãos.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O estresse térmico é definido como o aumento da temperatura acima do valor crítico, por período de tempo suficiente para causar danos irreversíveis ao crescimento e desenvolvimento das plantas (SOUZA et al., 2011). Segundo os mesmos autores, desvio dos valores de temperatura, acima da faixa ótima, implica em alterações nos diversos processos metabólicos, que em casos extremos culminam com a morte prematura das plantas. A temperatura ótima para o desenvolvimento de trigo está na faixa de 18-24°C, dessa forma, períodos curtos de exposição do trigo a temperaturas superiores a esta faixa, principalmente superior aos 30°C, proporcionam perdas significativas no rendimento de grãos e redução da qualidade dos mesmos (STONE e NICOLAS, 1994).

O excesso de calor, além de induzir perdas quantitativas e qualitativas na produção, encurta a duração do ciclo, reduz a área foliar, a estatura e a percentagem de fecundação das flores, acelera o período de enchimento e a senescência, além de diminuir o peso médio dos grãos do trigo. A fotossíntese é um dos processos fisiológicos mais sensíveis ao calor (DEMIREVSKA-KEPOVA et al., 2005), principalmente por causa da sensibilidade da membrana do tilacóide, com redução da produção de clorofila (RISTIC et al., 2007). Em contrapartida, a respiração aumenta acentuadamente com a elevação da temperatura (TAIZ e ZEIGER, 2004). Como consequência, ocorre redução na síntese de amido e da deposição do mesmo nos grãos, afetando negativamente a produtividade (HARDING et al., 1990). A tolerância ao estresse por calor esta associada à capacidade de genótipos em manter as taxas fotossintéticas estáveis sob altas temperaturas (BLUM et al., 1994).

Os primeiros reflexos dos efeitos do estresse por calor podem ser observados na fase de germinação e emergência das plântulas. Nesta fase, temperaturas superiores aos 35°C sobre as sementes de trigo influenciam na mobilização das reservas, afetando as enzimas envolvidas na hidrólise do amido, suprimindo os nutrientes no embrião, afetando a capacidade e velocidade de germinação e também o vigor, e assim, prejudicando o estabelecimento das plântulas (ESSEMINE et al., 2010).

Imediatamente após a emergência, altas temperaturas do solo têm efeitos deletérios profundos sobre o potencial de crescimento, ocorrendo redução no desenvolvimento das raízes e dos perfilhos (SOUZA, 1999).

A redução do ciclo total da planta, ocasionada pelas altas temperaturas, é mais acentuada na fase vegetativa, ou seja, da emergência ao início da diferenciação floral, além de reduções da altura das plantas e na área foliar. A redução na área foliar é resultado do menor tamanho das folhas, acrescida do menor número de folhas por planta e de perfilhos (SOUZA, 1999). De acordo com Porter e Gawith (1999) temperaturas superiores a 25°C inibem a formação de novas folhas, além de paralisar o desenvolvimento das mesmas. Estes autores observaram que estas temperaturas também reduzem o crescimento e alongamento do colmo, resultando em plantas de estatura reduzida.

O surgimento dos primeiros afilhos está intimamente associado com a emergência da folha, sendo que o aparecimento do primeiro perfilho somente ocorre após a formação completa da terceira folha, encerrando o desenvolvimento antes da antese. A redução do período de florescimento provoca redução drástica no número de afilhos por planta (KLEPER et al., 1998). Hossain et al. (2012) observaram que temperaturas maiores que 30°C na fase vegetativa proporcionam afilhos em menor

quantidade e, afetando negativamente a produtividade, uma vez que as plantas não conseguem se recuperar do estresse submetido.

O período reprodutivo do trigo surge quando as plantas apresentam de 2 a 4 folhas visíveis, caracterizado pelo estágio de iniciação da espiguetas terminal, onde ocorre a definição do número potencial de espiguetas/planta (RODRIGUES et al., 2011), etapa esta altamente sensível a temperatura (SOUZA, 1999; FAROOQ et al., 2011). Temperaturas superiores a 25°C nesta fase afetam a formação do número de espiguetas e do número de grãos por espiguetas, interferindo na diferenciação dos componentes da espiga e na fecundação das flores, (KLEPER et al., 1998; PORTER e GAWITH, 1999).

O estresse por calor afeta negativamente vários caracteres em trigo, com ênfase para os caracteres dias entre a emergência e o florescimento, e dias entre a emergência e a maturação, provocando reduções de 65 e 81 dias, respectivamente (YILDIRIM e BAHAR, 2010). Em outro trabalho o efeito da temperatura elevada antecipou em 20 dias a antese em genótipos de trigo semeados em épocas tardias, com presença de temperaturas elevadas na fase reprodutiva (AYENEHET al., 2002). Já a ocorrência de calor durante a antese aumenta a esterilidade das flores, afetando o número de grãos por espiga (FAROOQ et al., 2011) até provocar a esterilidade completa (NEILSON et al., 2010). Aumentos de temperaturas de 15/10°C (diurno/noturno) para 21/16°C reduziu de 60 para 36 dias a duração do enchimento de grãos, reduzindo para 22 dias quando a temperatura aumentou para 30/25°C, afetando significativamente também o peso de grãos (STRECK, 2005). Resultado similar também foi verificado por Majoul et al. (2003) e Farooq et al. (2011). A senescência precoce da folha tem sido considerada como uma expressão da

sensibilidade ao calor, reduzindo a área foliar ativa implicando em redução da fotossíntese e, conseqüentemente, redução da produção de grãos (SOUZA, 1999).

O estresse térmico submetido após a antese induziu o desenvolvimento de grãos enrugados e com peso reduzido, afetando a força de glúten, e principalmente, diminuindo a qualidade da farinha (DIAS et al., 2008). A temperatura elevada tem sido identificada como um dos fatores ambientais que afetam a qualidade do trigo (MAJOUL et al., 2003), principalmente na fase de enchimento de grãos, comprometendo o conteúdo de proteínas, classificadas em metabólicas (globulinas e albuminas) e estruturais ou de reserva (gliadinas e gluteninas). As proteínas de reserva são as mais importantes para a qualidade industrial, pois associam a elasticidade das gluteninas e extensibilidade (ou viscosidade) das gliadinas, determinando o comportamento da massa. Altas temperaturas provocam efeitos deletérios sobre a qualidade da massa (NEILSON et al., 2010), alterando a relação de gliadinas e gluteninas, aumentando a síntese de gliadinas enquanto que a síntese de gluteninas se mantém estável (MAJOUL et al., 2003).

A compreensão e avaliação dos mecanismos bioquímicos e fisiológicos em âmbito celular, molecular e morfológico, em complemento aos métodos tradicionais de seleção, constituem alternativas para selecionar genótipos tolerantes ao estresse de calor (SOUZA et al., 2011). A capacidade das plantas de sobreviverem e, principalmente, produzir elevados rendimentos de grãos é considerado como o principal mecanismo de tolerância ao calor (WAHID et al., 2007). Algumas alterações e mecanismos que possibilitem que as plantas possam enfrentar o estresse de calor podem ser caracterizadas conforme Wahid et al. (2007):

- Características de tolerância: stay-green, termoestabilidade de membrana, proteínas de choque térmico, além da atividade antioxidante (FAROOQ et al., 2012; ESSEMINE et al., 2010).

- Características de escape: depressão da temperatura dossel (redução da temperatura de órgãos da planta) e precocidade.

Stay-Green: O caráter stay-green é caracterizado por prolongamento na duração da área verde dos colmos e das folhas, determinando que a fase de senescência se estenda (SILVA et al., 2008). Na presença de estresse térmico a senescência foliar aumenta principalmente nas fases de pós-florescimento e enchimento de grãos (FAROOQ et al., 2011), com isso, identificar genótipos tolerantes a senescência foliar, ou seja, com a presença do caráter “stay-green”, demonstra ser uma eficiente estratégia no melhoramento para tolerância ao calor (AL-KARAKI, 2012). Colaborando com este fato, Fokar et al. (1998b) sugerem que o atraso na senescência foliar pode ser considerado como característica genética indicadora de tolerância ao calor, em função de favorecer a maior capacidade de enchimento de grãos sob temperaturas elevadas.

Termoestabilidade de Membrana: A termoestabilidade de membrana tem sido muito utilizada em estudos de tolerância ao calor, sendo uma característica herdável (FOKAR et al., 1998) e com alta correlação com rendimento de grãos (REYNOLDS et al. 2001) e índice de tolerância ao calor (DHANDA e MUNJAL, 2006). O rompimento da membrana celular possibilita a fuga de eletrólitos das células para o meio e a concentração destes é quantificada pela condutância elétrica (SOUZA et al., 2011), sendo que a menor condutividade elétrica indica maior tolerância ao calor. Estudando a termoestabilidade de membrana Dias et al. (2010) identificaram genótipos tolerantes ao estresse térmico através da alteração de alguns ácidos graxos.

DHANDA e MUNJAL (2006) identificaram genótipos com capacidade geral de combinação para termoestabilidade de membrana, que podem ser utilizados em hibridações artificiais visando a seleção de populações tolerantes ao calor.

Proteínas de Choque Térmico: Quando o trigo é submetido ao estresse térmico ocorre redução na síntese de proteínas (BLUMENTHAL et al., 1994), afetando a inibição e degradação das mesmas, porém algumas proteínas, denominadas de HSPs (proteínas de choque térmico), são induzidas, podendo muitas vezes melhorar o seu desempenho quando expostas as altas temperaturas (XU et al., 2011). Os mesmos autores apresentam algumas HSPs associadas com tolerância ao calor em trigo. Essas proteínas, juntamente com seus fatores de transcrição de choque térmico (HSFs), estão envolvidas em mecanismos moleculares de tolerância a altas temperaturas, agindo como chaperonas moleculares pela manutenção da homeostase do dobramento de proteínas. Em função dessas propriedades, as proteínas são mantidas intactas, sem modificações em suas estruturas e vias metabólicas.

Atividade antioxidante: Na presença de temperaturas elevadas, as plantas desenvolvem reações defensivas como a ativação de vários genes responsáveis pela síntese de um conjunto de substâncias, entre elas as peroxidases, enzimas que favorecem a oxidação das células produzindo radicais livres que agem nas membranas celulares e proteínas causando danos ou morte celular (ESSEMINE et al., 2010). Sairam et al. (2000) relatam que o estresse térmico favorece o surgimento de espécies ativas ao oxigênio (EROS) como o radical superóxido (O_2^-), o radical hidroxila (OH^-) e o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) que constituem o estresse oxidativo, causam peroxidação lipídica, conseqüentemente provocando injúrias na membrana, degradação e inativação de proteínas e rompimento da estrutura do DNA.

A eliminação das EROS é um dos principais mecanismos de defesa das plantas, sendo realizada pela presença de enzimas antioxidantes (superóxido dismutase, ascorbato peroxidase, glutatona redutase e catalase) e por metabólitos secundários da própria planta (glutatona, ácido ascórbico e carotenóides). Allakhverdiev et al. (2008) relatam que a presença de enzimas antioxidantes nas plantas representa papel importante na proteção das mesmas contra o estresse de altas temperaturas. Sairam et al. (2000), comparando genótipos tolerantes e suscetíveis ao estresse de calor, comprovaram que os genótipos tolerantes apresentavam maior conteúdo de antioxidantes endógenos (superóxido dismutase, ascorbato peroxidase e catalase) além de menor teor de H_2O_2 e peroxidação lipídica.

Depressão da temperatura do dossel: É definida pela diferença da temperatura do dossel com a temperatura do ar ambiente, onde o grau de resfriamento reflete a taxa de evapotranspiração da planta, ou seja, quanto maior a diferença de temperatura maior é a tolerância ao calor. Dessa forma, as plantas tolerantes são capazes de manter a temperatura dos órgãos em níveis normais, bem como as atividades de respiração e transpiração, mesmo em condições de estresse. Medição direta da temperatura das plantas com auxílio de termômetros infravermelhos portáteis demonstra ser uma ferramenta rápida, fácil e eficiente na avaliação de genótipos sob estresse de calor (ALI et al., 2010). Para o estudo do estresse térmico, o ideal é realizar irrigações artificiais dois a três dias antes das aferições, realizando estas sempre nos horários entre 12 e 15h e de preferência com ausência de nuvens, sendo a fase reprodutiva a mais adequada para a mensuração (AYENEH et al., 2002).

A depressão da temperatura do dossel tem sido utilizada para estimar o efeito do estresse térmico em trigo, pois apresenta correlação com rendimento de grãos sob

condições irrigadas, ou seja, para evitar o confundimento com o estresse hídrico (REYNOLDS et al., 1994). Ayeneh et al. (2002) avaliando a depressão da temperatura do dossel juntamente com a temperatura de depressão de outros órgãos como a folha bandeira, a espiga e o pedúnculo verificaram alta associação com rendimento de grãos. Pierre et al. (2010) indicaram ganhos genéticos para a temperatura do dossel utilizando o melhoramento convencional, identificando presença de efeitos epistáticos e de dominância para essa característica, de forma que sua utilização é mais confiável em gerações avançadas, por exemplo: famílias derivadas das gerações F₄ e F₅, a quais apresentam reduzidas frequências de loco em heterozigose.

Precocidade: em regiões produtoras de trigo no hemisfério norte, que apresentam problemas de altas temperaturas durante o enchimento de grãos, o desenvolvimento de genótipos precoces que apresentem longos períodos da emergência ao florescimento, seguido por um período curto da floração à maturação fisiológica das plantas, porém, com elevadas taxas de enchimento de grãos, representa uma característica de escape ao estresse térmico, dessa forma é possível obter genótipos com alto potencial produtivo (AL-KARAKI, 2012).

Dessa forma uma das possibilidades do aumento da produção de trigo no Brasil, visando garantir a auto-suficiência, é o desenvolvimento de genótipos tolerantes aos estresses abióticos, entre eles, o estresse de calor, principalmente voltados para regiões promissoras, como o Brasil Central que oferece áreas para expansão da cultura. Conhecer e compreender os efeitos e as alterações do estresse de calor sobre o desenvolvimento das plantas de trigo, bem como as características utilizadas na identificação de genótipos tolerantes demonstra ser um critério eficiente de seleção de genótipos tolerantes em programas de melhoramento genético. Dessa

forma, o conhecimento dos mecanismos de resposta e tolerância das plantas ao estresse de calor possibilitará o desenvolvimento de genótipos com elevados rendimentos em condições de estresse de calor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, M. B. et al. Wild tetraploid wheat (*Triticum turgidum* L.) response to heat stress. **Journal of Crop Improvement**, v.24, p.228-243, 2010.

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, 2012, 7p.

ALLAKHVERDIEV, S. I. et al. Heat stress: an overview of molecular responses in photosynthesis. **Photosynthesis Research**, v.98, p.541-550, 2008.

AYENEH, A. et al. Comparison of leaf, spike, peduncle and canopy temperature depression in wheat under heat stress. **Field Crops Research**, v.79, p.173-184, 2002.

BLUM, A.; SINMENA, B. Wheat seed endosperm utilization under heat stress and its relation to thermotolerance in the autotrophic plant. **Field Crops Research**, v.37, p.185-191, 1994.

BLUMENTHAL, C. et al. The heat-shock response relevant to molecular and structural changes in wheat yield and quality. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.21, p.901-909, 1994.

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.

CARGNIN, A. et al. Tolerância ao estresse de calor em genótipos de trigo na fase de germinação. **Bragantia**, v.65, p.245-251, 2006.

CARGNIN, A. et al. Tolerância ao estresse térmico em genótipos de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1269-1276, 2006.

COELHO, M. A. O. et al. Avaliação da produtividade de trigo (*Triticum aestivum* L.) de sequeiro em Minas Gerais. **Bioscience Journal**, v.26, p.717-723, 2010.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: 28 abr. 2012.

DEMIREVSKA-KEPOVA, K. et al. Heat stress effects on ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase, rubisco binding protein and rubisco activase in wheat leaves. **Biologia Plantarum**, v.49, p.521-525, 2005.

DHANDA, S. S.; MUNJAL, R. Inheritance of cellular thermotolerance in bread wheat. **Plant Breeding**, v.125, p.557-564, 2006.

DIAS, A. S.; BAGULHO, A. S.; LIDON, F. C. Ultra structure and biochemical traits of bread and durum wheat grains under heat stress. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.20, p.323-333, 2008.

DIAS, A. S. et al. Wheat cellular membrane thermotolerance under heat stress. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.196, p.100-108, 2010.

ESSEMINE, J.; AMMAR, S.; BOUZID, S. Impact of heat stress on germination and growth in higher plants: physiological, biochemical and molecular repercussions and mechanisms of defence. **Journal of Biological Sciences**, v.10, p.565-572, 2010.

FAROOQ, M. et al. Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.30, p.491-507, 2011.

FOKAR, M.; NGUYEN, H. T.; BLUM, A. Heat tolerance in spring wheat. I. Estimating cellular thermotolerance and its heritability. **Euphytica**, v.104, p.1-8, 1998.

FOKAR, M.; BLUM, A.; NGUYEN, H. T. Heat tolerance in spring wheat. II. Grain filling. **Euphytica**, v.104, p.9-15, 1998b.

HARDING, S. A.; GUIKEMA, J. A.; PAULSEN, G. M., Photosynthetic decline from high temperature stress during maturation of wheat. II. Interaction with source and sink processes. **Plant Physiology**, v.92, p.654-658, 1990.

HOSSAIN, A. et al. Evaluation of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Under Heat Stress: Yield and Heat Susceptibility Index. **Journal of Stress Physiology & Biochemistry**, v.8, p.77-94, 2012.

KHANNA-CHOPRA, R.; VISWANATHAN, C. Evaluation of heat stress tolerance in irrigated environment of *T. aestivum* and related species. I. Stability in yield and yield components. **Euphytica**, v.106, p.169-180, 1999.

KLEPER, B. et al. The physiological life cycle of wheat: its use in breeding and crop management. **Euphytica**, v.100, p.341-347, 1998.

MACHADO, J. C. et al. Recurrent selection as breeding strategy for heat tolerance in wheat. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.10, p.9-15, 2010.

MAJOUL, T. et al. Proteomic analysis of the effect of heat stress on hexaploid wheat grain: Characterization of heat-responsive proteins from total endosperm. **Proteomics**, v.3, p.175-183, 2003.

NEILSON, K. A. et al. Proteomic analysis of temperature stress in plants. **Proteomics**, v.10, p.828-845, 2010.

PIERRE, C. S. et al. Gene action of canopy temperature in bread wheat under diverse environments. **Theoretical and Applied Genetics**, v.120, p.1107-1117, 2010.

PORTER, J. R.; GAWITH, M. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. **European Journal of Agronomy**, v.10, p.23-36, 1999.

RANE, J.; NAGARAJAN, S. High temperature index - for field evaluation of heat tolerance in wheat varieties. **Agricultural Systems**, v.79, p.243-255, 2004.

REYNOLDS, M. P. et al. Physiological and morphological traits associated with spring wheat yield under hot, irrigated conditions. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.21, p.717-730, 1994.

REYNOLDS, M. P. et al. Heat tolerance. In: REYNOLDS, M. P.; ORTIZ-MONASTERIO, J. I.; MCNAB, A. **Application of Physiology in Wheat Breeding**. México: CIMMYT, 2001. Cap.10, p.124-135.

RISTIC, Z.; BUKOVNIK, U.; PRASAD, P. V. V. Correlation between heat stability of thylakoid membranes and loss of chlorophyll in winter wheat under heat stress. **Crop Science**, v.47, p.2067-2073, 2007.

RODRIGUES, O.; HAAS, J. C.; COSTENARO, E. R. Manejo de trigo para alta produtividade II: caracterização ontogenética. **Revista Plantio Direto**, v.20, p.10-13, 2011.

SAIRAM, R. K.; SRIVASTAVA, G. C.; SAXENA, D. C. Increased antioxidant activity under elevated temperatures: A mechanism of heat stress tolerance in wheat genotypes. **Biologia Plantarum**, v.43, p.245-251, 2000.

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, J. A. G. et al. Caráter stay-green e produtividade de grãos em trigo. **Bragantia**, v.67, p.161-167, 2008.

SOUZA, M. A. **Controle genético e resposta ao estresse de calor de cultivares de trigo**. 1999. 152 f. Tese (Doutorado em genética e melhoramento de plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 1999.

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

SOUZA, M. A.; RAMALHO, M. A. P. Controle genético e tolerância ao estresse de calor em populações híbridas e em cultivares de trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1245-1253, 2001.

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, p.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.730-740, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Tradução de SANTARÉM, E. R. et al., 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

USDA – **United States Department of Agriculture**. Disponível em: <www.ers.usda.gov/Data/Wheat/YBtable04.asp>. Acesso em: 20 mai. 2012.

VALERIO, I. P. et al. Fatores relacionados à produção e desenvolvimento de afilhos em trigo. **Semina: Ciências Agrárias**, v.30, p.1207-1218, 2009.

WAHID, A. et al. Heat tolerance in plants: An overview. **Environmental and Experimental Botany**, v.61, p.199-223, 2007.

WARDLAW, I. F.; WRIGLEY, C. W. Heat tolerance in temperate cereals: An overview. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.21, p.695-703, 1994.

XU, Y.; ZHAN, C.; HUANG, B. Heat shock proteins in association with heat tolerance in grasses. **International Journal of Proteomics**, v.2011, p.1-11, 2011.

YANG, J. et al. Growth and senescence characteristics associated with tolerance of wheat-alien amphiploids to high temperature under controlled conditions. **Euphytica**, v.126, p.185-193, 2002.

YILDIRIM, M.; BAHAR, B. Responses of some wheat genotypes and their F₂ progenies to salinity and heat stress. **Scientific Research and Essays**, v.5, p.1734-1741, 2010.

ARTIGO 1

POTENCIAL DE POPULAÇÕES SEGREGANTES DE TRIGO QUANTO À TOLERÂNCIA AO ESTRESSE DE CALOR

POTENTIAL OF SEGREGATING POPULATIONS OF WHEAT TO TOLERANCE TO HEAT STRESS

RESUMO

O estresse de calor é um dos principais estresses abióticos que afetam o rendimento e qualidade do trigo em muitas partes do mundo. Para contornar este problema, o desenvolvimento de cultivares tolerantes ao calor vem se demonstrando uma das principais metas dos programas de melhoramento, especialmente para as condições do Brasil Central. O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de identificar populações promissoras para tolerância ao estresse de calor, visando obtenção de linhagens adaptadas às condições do Brasil Central. O experimento foi conduzido no verão de 2011 em Coimbra/MG na área experimental pertencente à Universidade Federal de Viçosa (UFV) onde foram avaliadas 36 populações segregantes com número variado de famílias por população em delineamento de blocos aumentados, determinando o ciclo, estatura de planta e rendimento de grãos. Foi verificada a presença de variabilidade genética para tolerância ao calor entre as populações de trigo. O estágio vegetativo de desenvolvimento do trigo foi mais sensível ao efeito do estresse térmico. As populações segregantes mais promissoras foram IAC364/BRS207, IAC24/Aliança e IAC24/Pioneiro associando alta

produtividade com grande número de famílias selecionadas entre as mais produtivas, demonstrando possibilidade de seleção de linhagens tolerantes ao estresse de calor.

Palavras-chave: estresse abiótico, temperatura, ganho por seleção, *Triticum aestivum* L.

ABSTRACT

The heat stress is a major abiotic stresses that affect yield and quality of wheat in many parts of the world. To circumvent this problem, the development of heat tolerant cultivars has been showing one of the main targets of breeding programs, especially for the conditions of Central Brazil. The present work was developed with objective of identify promising populations for tolerance to heat stress, in order to obtain lines adapted to the conditions of Central Brazil. The experiment was conducted in the summer of 2011 in Coimbra/MG in the experimental area belongs to the Universidade Federal de Viçosa (UFV) where were evaluated 36 segregating populations with different numbers of families per population in augmented block design, determining the cycle, plant height and grain yield. It was verified the occurrence of genetic variability for heat tolerance among populations of wheat. The vegetative stage of development of wheat was more sensitive to the effect of heat stress. The most promising segregating populations were IAC364/BRS207, IAC24/Aliança IAC24/Pioneiro and high productivity associated with a large number of families selected among the most productive, demonstrating the possibility of selecting strains tolerant to heat stress.

Key words: abiotic stress, temperature, selection gains, *Triticum aestivum* L.

INTRODUÇÃO

A produção de trigo (*Triticum aestivum* L.) no Brasil, na média dos últimos cinco anos, representa cerca de 50% do consumo nacional, ou seja, cinco milhões de toneladas (CONAB, 2012). Os principais estados produtores de trigo, Paraná e Rio Grande do Sul, concentram mais de 90% da produção nacional com média de produtividades de 2.300 kg ha⁻¹. Já a região do Brasil Central, compreendida por alguns estados como Goiás, Distrito Federal, Minas Gerais e Mato Grosso, representa quase 5% da produção nacional apresentando, como principal vantagem, produtividades médias acima dos 4.000 kg ha⁻¹ (CONAB, 2012). Destaca-se, no entanto, que esta produção engloba principalmente o cultivo com irrigação, onde a semeadura ocorre nos meses de abril e maio.

Outra alternativa viável para o Brasil Central é a semeadura no final do verão, ou seja, o cultivo denominado de trigo de sequeiro. Este tipo de cultivo representa uma opção em sucessão à soja precoce, que complementa a renda dos produtores, aumenta a eficiência do uso da terra e reduz a ociosidade das máquinas (CARGNIN et al., 2009). No cultivo de sequeiro aproveita-se as precipitações pluviais do final do período das chuvas que coincide com o desenvolvimento completo da cultura, o que pode contribuir para redução do custo de produção da lavoura. Entretanto os principais entraves deste cultivo é a ocorrência de temperaturas elevadas que reduz o potencial produtivo, aliado ao reduzido número de cultivares resistentes ao estresse térmico.

O estresse de calor é um dos principais estresses abióticos que limitam a produtividade da cultura do trigo (REYNOLDS et al., 2001; ALI et al., 2010). Segundo COELHO et al. (2010) a produção trigo de sequeiro em Minas Gerais é em

torno de 2.000 kg ha⁻¹. Dessa forma, o desenvolvimento de genótipos tolerantes ao estresse térmico e com elevado rendimento de grãos é um dos objetivos dos programas de melhoramento genético de trigo (REYNOLDS et al., 2007; ORTIZ et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2011; AL-KARAKI 2012), especialmente para as condições do Brasil Central (MACHADO et al., 2010).

Diversos trabalhos relatam o efeito negativo de temperaturas elevadas na cultura do trigo (VISWANATHAN & KHANNA-CHOPRA, 2001; AYENEH et al., 2002; CARGNIN et al., 2006a; CARGNIN et al., 2006b; DHANDA & MUNJAL, 2006; DIAS et al., 2010; ALI et al., 2010; MACHADO et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2011). Neste contexto, a obtenção de informações sobre a existência de variabilidade genética para tolerância ao calor, juntamente com o comportamento de populações segregantes, é importante para que se tornem mais eficientes os programas de melhoramento a serem conduzidos para a cultura do trigo (CARGNIN et al., 2006a). A comprovação da presença de variabilidade genética em populações segregantes é grande importância para estimação do progresso genético da espécie de interesse, com a seleção de genótipos promissores (REIS et al., 2004). Assim, a quantificação de ganhos e a identificação de constituições genéticas superiores para novos ciclos de seleção são de fundamental importância para o melhoramento genético. Segundo REIS et al. (2004) vários procedimentos são utilizados pelo melhorista para identificar os genótipos superiores numa população. Alguns levam em conta o comportamento do indivíduo, enquanto outros se fundamentam, primeiramente, no desempenho da família e, depois, na superioridade relativa dos indivíduos dentro da família.

O principal objetivo deste trabalho foi identificar populações segregantes promissoras para tolerância ao calor em trigo visando obtenção de linhagens adaptadas às condições do Brasil Central.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em 2011 na Estação Experimental dos Quartéis, pertencente à Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada no município de Coimbra-MG, na latitude de 20°45'S, longitude 42°51'W e a 720 m de altitude.

A semeadura foi realizada no mês de março, sendo denominada de verão, correspondendo à estação que apresenta temperaturas elevadas durante o ciclo da cultura, ou seja, presença de estresse por calor. Foram semeadas 36 populações segregantes com número variado de progênies por população, juntamente com três testemunhas: Aliança, cultivar recomendada para cultivo de sequeiro no Brasil-Central com média tolerância ao calor; BRS 254 e Pioneiro, também são cultivares recomendadas para cultivo irrigado no Brasil-Central com baixa tolerância ao calor.

As sementes de cada progênie foram obtidas de uma espiga selecionada nas populações híbridas F₃ conduzidas no verão de 2010 na área experimental Prof. Diogo Alves de Melo, da UFV, em Viçosa, MG, na latitude 20°45'S, longitude 42°52'W e a 649 m de altitude.

As populações foram avaliadas utilizando o delineamento de blocos aumentados de FEDERER (1956). As testemunhas foram intercaladas a cada 50 famílias. As parcelas constituíram-se de uma linha de um metro de comprimento, no espaçamento de 0,2 m entre linhas.

A fim de evitar a interferência do estresse hídrico no crescimento e

desenvolvimento da cultura, foram realizadas irrigações por aspersão, sempre que necessário. A adubação foi realizada, aplicando 300 kg ha⁻¹ de NPK da fórmula 08-28-16 no sulco de semeadura; em cobertura, no início do perfilhamento, foram aplicados 50 kg ha⁻¹ de N juntamente com 0,65 kg ha⁻¹ de boro (controle da esterilidade masculina – chochamento). Os demais tratos culturais foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do trigo (RCBPTT, 2010).

Foram coletados os dados diários de temperatura mínima (*Tmin*) e máxima (*Tmax*) do ar durante o período experimental, em uma estação meteorológica convencional, pertencente à UFV, localizada a aproximadamente 30 metros da área experimental. Visando a melhor caracterização dos efeitos da temperatura, foi determinada a soma térmica ou graus-dia acumulados (GDA) nas fases de desenvolvimento da cultura. Para este cálculo utilizou-se a expressão: $GDA: \sum_{i=1}^n \left(\frac{(Tmax+Tmin)}{2} \right) - Tbase$, onde *Tmax* é a temperatura máxima no dia, em °C; *Tmin* é a temperatura mínima do dia, em °C; *Tbase* é a temperatura base para a cultura do trigo e *n* é o número de dias avaliados no período. Como temperatura base da cultura foi adotado o valor de 4,5°C sugerido por FISCHER (1985) e utilizado por KHANNA-CHOPRA & VISWANATHAN (1999).

Os caracteres mensurados foram: dias da emergência ao florescimento (DEF), em dias, determinado pelo intervalo em dias entre a emergência das plantas e a emissão de 50% das espigas de cada tratamento; dias da emergência até a maturação das espigas (DEM), em dias, determinado pelo intervalo em dias entre a emergência das plantas e a maturação fisiológica das plantas; estatura de planta (EST), em cm, determinada 21 dias após o espigamento com o auxílio de uma régua e expressa em centímetros; e rendimento de grãos (RG), definido pela pesagem da produção total de cada parcela.

Primeiramente foram corrigidos os dados das testemunhas para posterior correção das famílias, segundo a metodologia proposta por CRUZ & CARNEIRO (2006). Após estimada a média das progênes de cada população, estas foram submetidas a análise de variância pela metodologia de blocos aumentados. As médias dos tratamentos foram analisadas, utilizando-se o teste de agrupamento proposto por Scott e Knott a 5% de probabilidade, com auxílio do programa computacional Genes (CRUZ, 2007). Foi estimada a média das 36 populações segregantes para o caráter rendimento de grãos e identificou-se o número de famílias de cada população entre a seleção baseada em 25 e 10% das famílias mais produtivas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Constataram-se diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre populações e entre famílias dentro de populações, com exceção da variável dias entre a emergência e floração (DEF). Os valores de herdabilidade foram de 70,7%, 81,5% e 93,2% para rendimento de grãos (RG), estatura de planta (EST) e dias entre a emergência e maturação (DEM), respectivamente. Por estes resultados, há evidências que a seleção direta para estes caracteres revelam condições favoráveis em termo de ganho genético imediato para o próximo ciclo de cultivo. Segundo SILVEIRA et al. (2010) resultados de elevada magnitude de herdabilidade são decorrentes de elevada variabilidade genética para os caracteres avaliados.

A relação CV_g/CV_e , apresentou valores superiores a unidade para todos os caracteres, sendo 1,92 (RG), 2,41 (EST) e 4,12 (DEM), indicando que métodos

relativamente simples de seleção para estes caracteres podem ser promissores para obtenção de genótipos superiores (CRUZ et al., 2004).

O ciclo de desenvolvimento do trigo pode ser dividido em duas fases, a fase vegetativa e a reprodutiva, sendo a fase vegetativa definida da emergência até o aparecimento da inflorescência ou antese, e a fase reprodutiva inicia no final da fase vegetativa e se estende até a maturidade fisiológica (STRECK et al., 2003a). Com base neste critério a duração média dos tratamentos para ciclo total foi de 114 dias, apresentando acúmulo de 1.683,41°C.dia (GDA). As fases de desenvolvimento foram semelhantes entre os tratamentos, com média de 60 dias para DEF (fase vegetativa) e 54 dias para DFM (fase reprodutiva). Entretanto, quando se considera o GDA a fase vegetativa apresentou 996,58°C.dia, enquanto a fase reprodutiva totalizou-se 686,83°C.dia, com uma diferença de mais de 300 GDA entre as fases. Com base nestes resultados fica evidente que na fase vegetativa as temperaturas médias foram superiores as da fase reprodutiva, pois a duração das duas fases, em dias, atingiu valores próximos (Tabela 1). De acordo com PRELA & RIBEIRO (2002) um dos métodos mais utilizados para relacionar a temperatura do ar com o desenvolvimento e/ou crescimento das plantas é o da soma térmica ou graus-dia acumulados, pois não depende da época e do local de semeadura.

Nos estudos de OLIVEIRA et al. (2011), que avaliaram os genitores e as famílias no segundo ciclo de seleção recorrente, semeados durante o cultivo de verão e de inverno, foi verificado que o período da emergência ao florescimento ocorreu com 43 dias em presença de estresse térmico, enquanto para o cultivo de inverno a duração foi de 67 dias. Considerando o período reprodutivo verificou-se similaridade em ambos os cultivos, 50 dias para o inverno e 52 dias para o cultivo de verão, resultado esse, muito próximo ao encontrado neste trabalho (Tabela 1).

A duração do ciclo total de desenvolvimento de cultivares de trigo tem relação direta, principalmente, com a duração da fase vegetativa e não com a fase reprodutiva (WALTER et al., 2009). Esta constatação também foi encontrada por MACHADO et al. (2010), em que não verificaram diferenças entre as médias de temperaturas na fase reprodutiva, considerando duas épocas de semeadura (verão e inverno).

O estresse térmico é definido como o aumento da temperatura acima do valor crítico, por período de tempo suficiente para causar danos irreversíveis ao crescimento e desenvolvimento das plantas (SOUZA et al., 2011). A temperatura ótima para o desenvolvimento de trigo situa-se na faixa de 18-24°C e, a exposição das plantas a temperaturas superiores a esta faixa, proporcionam perdas significativas no rendimento de grãos (STONE & NICOLAS, 1994).

Foram observados 54 dias com temperaturas superiores a 24°C em 60 dias referentes ao período vegetativo e 35 dias em 54 dias para o período reprodutivo (Tabela 1), evidenciando a maior ocorrência de temperaturas elevadas durante a fase vegetativa. Segundo RODRIGUES et al. (2011) a fase reprodutiva não se inicia com a extrusão das anteras na espiga do trigo, conforme relatado por STRECK et al. (2003), e sim quando as plantas apresentam de duas a quatro folhas visíveis, caracterizado pelo estágio de iniciação da espiguetas terminal, onde ocorre a definição do número de espiguetas/planta. Esta etapa é altamente sensível às temperaturas elevadas (FARROOQ et al., 2011), no qual temperaturas superiores à faixa ideal da cultura afetam a formação do número de espiguetas e do número de grãos por espiguetas, interferindo na diferenciação dos componentes da espiga e na fecundação das flores, reduzindo o rendimento final (KLEPER et al., 1998; PORTER & GAWITH, 1999).

Os resultados do teste de agrupamento de médias estão apresentados na Tabela 2, onde são verificadas diferenças entre médias dos tratamentos. O número variado de famílias (NF) por população foi em função da eliminação de famílias por problemas de germinação e ataques de pássaros (Tabela 3). As populações com as médias mais elevadas foram IAC364/BRS207, EMB42/BRS207, EMB2/VI98053, EMB42/Anahuac e BRS264/Aliança, demonstrando serem tolerante ao calor, com desempenho superior às testemunhas. As testemunhas Aliança e Pioneiro, cultivares com boa aceitação pelos produtores rurais em cultivos de verão no Brasil-Central, juntamente com 14 populações demonstraram comportamento intermediário, apresentando relativa tolerância ao calor. Já 17 populações e a testemunha BRS 254 demonstram reduzido potencial produtivo evidenciando baixa tolerância ao estresse térmico.

Para o caráter estatura de plantas (EST) verifica-se a formação de três classe, destacando as populações BRS264/Pioneiro, BRS254/VI98053, BRS254/BRS207 e BRS264/VI98053, com as menores médias. Valores elevados foram encontrados nas populações EMB42/BRS207, EMB42/Anahuac, BRS264/Aliança, IAC364/BRS207 e IAC24/Pioneiro, juntamente com a testemunha Aliança. Vale destacar que estas populações apresentaram as maiores médias de RG, com exceção da população IAC24/Pioneiro e da testemunha Aliança (Tabela 2). Este fato pode ser comprovado pela associação entre EST e RG, o qual apresentou uma correlação positiva de 0,53 (dados não apresentados). Em geral, plantas de elevadas estaturas, tendem a ser mais suscetíveis ao acamamento, resultando em redução no rendimento de grãos (SILVA et al., 2006).

As testemunhas são classificadas como de ciclo precoce (Aliança e BRS 254) e médio (Pioneiro), onde os resultados do trabalho demonstraram ciclo de 113 dias

para “Aliança” e ciclo de 112 dias para “BRS 254” e “Pioneiro”. Com relação às populações: dezenove populações apresentaram ciclo similar às testemunhas; doze populações podem ser classificadas como tardias; e cinco populações EMB42/IVI10041, EMB42/Anahuac, BRS254/VI98053, BRS264/IVI010041 e BRS264/Pioneiro apresentaram reduzido ciclo. As populações com reduzido ciclo apresentaram baixo potencial de rendimento de grãos, demonstrando ser altamente sensíveis ao estresse térmico. Em alguns trabalhos o ciclo de desenvolvimento do trigo em ambientes de estresse de calor foram de 88 dias (YILDIRIM & BAHAR, 2010), 95 dias (OLIVEIRA et al., 2011), 106 e 104 dias (AYENEH et al., 2002).

Considerando a seleção de 25%, verifica-se que foram identificadas famílias superiores em quase todas as populações, com exceção das populações EMB22/Anahuac, EMB22/Aliança, BRS254/Aliança e BRS254/VI98053 que não teve famílias selecionadas (Tabela 3). Quando se considera 10% de famílias mais produtivas, estas foram derivadas de 18 das 36 populações, destacando-se a população IAC364/BRS207 com 21 famílias, comprovando novamente a superioridade desta população (Tabela 2). Já as populações EMB22/VI98053, EMB42/Anahuac, EMB42/BRS207 e BRS264/Aliança que apresentaram médias das populações elevadas (Tabela 2), não evidenciaram a superioridade em relação ao número de famílias superiores, apresentando 1, 2, 4 e 6 famílias selecionadas, respectivamente (Tabela 3). Por outro lado, as populações IAC24/Aliança, IAC24/BRS207, IAC24/IVI010041 e IAC24/Pioneiro apresentaram comportamento contrário, ou seja, tiveram médias populacionais reduzidas para RG (Tabela 2), porém com número elevado de famílias superiores selecionadas 19, 8, 9 e 13, respectivamente (Tabela 3).

CONCLUSÃO

A existência de variabilidade genética entre as populações apresenta potencial para derivação de linhagens tolerantes ao estresse de calor, destacando as populações IAC364/BRS207, IAC24/Aliança e IAC24/Pioneiro.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao CNPq, à CAPES e à FAPEMIG pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

ALI, M.B.; IBRAHIMA, A.M.H.; HAYSA, D.B.; RISTIC, Z.; FU, J. Wild tetraploid wheat (*Triticum turgidum* L.) response to heat stress. **Journal of Crop Improvement**, v.24, n.3, p.228-243, 2010.

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.

AYENEH, A.; VAN GINKEL, M.; REYNOLDS, M.P.; AMMAR, K. Comparison of leaf, spike, peduncle and canopy temperature depression in wheat under heat stress. **Field Crops Research**, v.79, n.2-3, p.173-184, 2002.

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

CARGNIN, A.; SOUZA, M.A.; DIAS, D.C.F.; MACHADO, J.C.; MACHADO, C.G.; SOFIATTI, V. Tolerância ao estresse de calor em genótipos de trigo na fase de germinação. **Bragantia**, v.65, p.245-251, 2006(b).

CARGNIN, A.; SOUZA, M.A.; FRONZA, V.; FOGAÇA, C.M. Genetic and environmental contributions to increased wheat yield in Minas Gerais, Brazil. **Scientia Agricola**, v.66, p.317-322, 2009.

REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE. **Informações técnicas para trigo e triticale – safra 2011**. Cascavel: COODETEC, 2010. 170p.

COELHO, M.A.O.; CONDÉ, A.B.T.; YAMANAKA, C.H.; CORTE, H.R. Avaliação da produtividade de trigo (*Triticum aestivum* L.) de sequeiro em Minas Gerais. **Bioscience Journal**, v.26, n.5, p.717-723, 2010.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em 28 de Abril de 2012.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2006. v. 2.

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

CRUZ, C.D. (2007) **Programa Genes - Aplicativo computacional em genética e estatística**. Versão Windows. <www.ufv.br/dbg/genes/genes.htm>.

DHANDA, S.S.; MUNJAL, R. Inheritance of cellular thermotolerance in bread wheat. **Plant Breeding**, v.125, p.557-564, 2006.

DIAS, A.S.; BARREIRO, M.G.; CAMPOS, P.S.; RAMALHO, J.C.; LIDON, F.C. Wheat cellular membrane thermotolerance under heat stress. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.196, p.100-108, 2010.

FAROOQ, M.; BRAMLEY, H.; PALTA, J.A.; SIDDIQUE, K.H.M. Heat stress in wheat during reproductive and grain-filling phases. **Critical Reviews in Plant Sciences**, v.30, n.6, p.491-507, 2011.

FEDERER, W.T. Augmented (hoonuiaku) designs. **Hawaiian Planters' Record, Aica**, v.55, p.191-208, 1956.

FISCHER, R.A. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. **Journal of Agricultural Science**, v.105, p.447-461, 1985.

FOKAR, M.; NGUYEN, H.T.; BLUM, A. Heat tolerance in spring wheat. I. Estimating cellular thermotolerance and its heritability. **Euphytica**, v.104, p.1-8, 1998.

KHANNA-CHOPRA, R.; VISWANATHAN, C. Evaluation of heat stress tolerance in irrigated environment of *Triticum aestivum* and related species. I. Stability in yield and yield components. **Euphytica**, v.106, p.169-180, 1999.

KLEPER, B.; RICKMAN, R.W.; WALDMAN, S.; CHEVALIER, P. The physiological life cycle of wheat: its use in breeding and crop management. **Euphytica**, v.100, n.1, p.341-347, 1998.

MACHADO, J.C.; SOUZA, M.A.; OLIVEIRA, D.M.; CARGNIN, A.; PIMENTEL, A.J.B.; ASSIS, J.C. Recurrent selection as breeding strategy for heat tolerance in wheat. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.10, p.9-15, 2010.

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

ORTIZ, R.; SAYRE, K.D.; GOVAERTS, B.; GUPTA, R.; SUBBARAO, G.V.; BAN, T.; HODSON, D.; DIXON, J.M.; ORTIZ-MONASTERIO, J.I.; REYNOLDS,

M. Climate change: can wheat beat the heat? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.126, p.46-58,2008.

PORTER, J.R.; GAWITH, M. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. **European Journal of Agronomy**, v.10, p.23-36, 1999.

PRELA, A.; RIBEIRO, A.M.A. Determinação de graus-dia acumulados e sua aplicação no planejamento do cultivo de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) para Londrina-PR. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.10, p.83-86, 2002.

REIS, E.F.; REIS, M.S.; CRUZ, C.D.; SEDIYAMA, T. Comparação de procedimentos de seleção para produção de grãos em populações de soja. **Ciência Rural**, v.34, n.3, p.685-692, 2004.

REYNOLDS, M.P.; NAGARAJAN, S.; RAZZAQUE, M.A.; AGEEB, O.A.A. **Heat tolerance**. In: REYNOLDS, M.P.; ORTIZ-MONASTERIO, J.I.; MCNAB, A. (eds) Application of Physiology in Wheat Breeding. CIMMYT, México, p.124-135, 2001.

REYNOLDS, M.P.; PIERRE, C.S.; SAAD, A.S.I.; VARGAS, M.; CONDON, A.G. Evaluating potential genetic gains in wheat associated with stress-adaptive trait expression in elite genetic resources under drought and heat stress. **Crop Science**, v.47, p.172-189, 2007.

RODRIGUES, O.; HAAS, J.C.; COSTENARO, E.R. Manejo de trigo para alta produtividade II: caracterização ontogenética. **Revista Plantio Direto**, v.20, n.125, p.10-13, 2011.

SILVA, J.A.G.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; VIEIRA, E.A.; BENIN, G.; VALERIO, I.P.; CARVALHO, M.F.; FINATTO, T.; BUSATO, C.C.; RIBEIRO, G. Correlação de acamamento com rendimento de grãos e outros caracteres de interesse agrônômico em plantas de trigo. **Ciência Rural**, v.36, n.3, 2006.

SILVEIRA, G.; MOLITERNO, E.; RIBEIRO, G.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; NORBERG, R.; BARETTA, D.; MEZZALIRA, I. Variabilidade genética para características agronômicas superiores em cruzamentos biparentais de aveia preta. **Bragantia**, v.69, n.4, p.823-832, 2010.

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. p.199-226, 2011.

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, p.887-900, 1994.

STRECK, N.A.; WEISS, A.; XUE, Q.; BAENZIGER, P.S. Improving predictions of developmental stages in winter wheat: a modified wang and engel model. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.115, n.3-4, p.139-150, 2003.

VISWANATHAN, C.; KHANNA-CHOPRA, R. Effect of heat stress on grain growth, starch synthesis and protein synthesis in grains of wheat (*Triticum aestivum* L.) varieties differing in grain weight stability. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.186, p.1-7, 2001.

WALTER, L.C.; STRECK, N.A.; ROSA, H.T.; ALBERTO, C.M.; OLIVEIRA, F.B. Desenvolvimento vegetativo e reprodutivo de cultivares de trigo e sua associação com a emissão de folhas. **Ciência Rural**, v.39, n.8, 2009.

YILDIRIM, M.; BAHAR, B. Responses of some wheat genotypes and their F₂ progenies to salinity and heat stress. **Scientific Research and Essays**, v.5, n.13, p.1734-1741, 2010.

TABELA 1: Temperaturas médias, máximas e mínimas, número de dias com temperatura máxima superior a 24°C (NDTmax>24°C) no período de condução do experimento e graus-dia acumulados (GDA) na média geral nas fases vegetativa (DEF), reprodutiva (DFM) e durante todo o ciclo (CICLO) do trigo no verão de 2011, em Viçosa (MG), 2012.

Período	Temperatura (°C)		NDTmax> 24°C
	Máxima	Mínima	
28 a 31 de Março	30,15	19,58	4 dias em 4 dias
Abril	27,78	16,63	29 dias em 30 dias
Maio	25,30	12,69	22 dias em 31 dias
Junho	24,15	10,55	18 dias em 30 dias
1 a 26 de Julho	24,69	9,20	19 dias em 26 dias
Graus-dia acumulados na média geral dos tratamentos			
Fases de Desenvolvimento	Duração da Fase (dias)		GDA (°C)
DEF	60		996.58
DFM	54		686.83
CICLO	114		1683.41

TABELA 2: Média para os caracteres estatura de planta (EST), em cm; dias da emergência a maturação (DEM), em dias; e rendimento de grãos (RG), em kg ha⁻¹, para 36 populações e três testemunhas (ALIANÇA, BRS 254, PIONEIRO) de trigo no verão de 2011, em Viçosa (MG), 2012.

Populações		EST		DEM		RG	
1	EMB22/Anahuac	74	b ¹	115	b	1421.61	c
2	EMB22/Aliança	68	b	114	b	1338.61	c
3	EMB22/BRS207	71	b	117	c	1688.61	c
4	EMB22/VI98053	72	b	114	b	2089.61	b
5	EMB22/IVI010041	76	b	114	b	1544.61	c
6	EMB22/Pioneiro	72	b	118	c	1649.61	c
7	EMB42/Anahuac	84	c	112	b	2043.11	b
8	EMB42/Aliança	72	b	117	c	1186.11	d
9	EMB42/BRS207	89	c	118	c	2220.61	b
10	EMB42/VI98053	65	b	113	b	1377.11	c
11	EMB42/IVI010041	70	b	106	a	1125.61	d
12	EMB42/Pioneiro	76	b	108	a	1635.61	c
13	BRS254/Anahuac	68	b	110	b	1323.45	c
14	BRS254/Aliança	73	b	117	c	1083.45	d
15	BRS254/BRS207	62	a	114	b	857.95	d
16	BRS254/VI98053	57	a	109	a	905.45	d
17	BRS254/IVI010041	68	b	113	b	1271.45	c
18	BRS254/Pioneiro	73	b	112	b	1567.95	c
19	BRS264/Anahuac	69	b	111	b	779.95	d
20	BRS264/Aliança	83	c	113	b	1781.95	b
21	BRS264/BRS207	71	b	118	c	1153.95	d
22	BRS264/VI98053	63	a	111	b	884.95	d
23	BRS264/IVI010041	73	b	107	a	772.45	d
24	BRS264/Pioneiro	56	a	108	a	796.45	d
25	IAC24/Anahuac	68	b	114	b	616.61	e
26	IAC24/Aliança	76	b	114	b	1658.11	c
27	IAC24/BRS207	76	b	120	c	1179.61	d
28	IAC24/VI98053	76	b	120	c	887.61	d
29	IAC24/IVI010041	65	b	113	b	1000.61	d
30	IAC24/ Pioneiro	81	c	118	c	1473.11	c
31	IAC364/Anahuac	69	b	113	b	806.28	d
32	IAC364/Aliança	72	b	114	b	959.28	d
33	IAC364/BRS 207	81	c	121	c	2764.28	a
34	IAC364/VI98053	68	b	114	b	1614.78	c
35	IAC364/IVI010041	72	b	119	c	1424.78	c
36	IAC364/ Pioneiro	73	b	118	c	963.28	d
37	Aliança	83	c	113	b	1566.92	c
38	BRS254	65	b	112	b	1043.92	d
39	Pioneiro	68	b	112	b	1244.00	c

¹Médias seguidas da mesma letra na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste Scott e Knott, em nível de 5% de probabilidade.

TABELA 3. Número total de famílias na população original (NT) e número de famílias selecionadas por população (NS) entre as 25% e 10% mais produtivas, em Viçosa (MG), 2012.

	Populações	Original		25%		10%	
		NT	RG ¹	NS	RG	NS	RG
1	EMB22/Anahuac	20	1421				
2	EMB22/Aliança	20	1338				
3	EMB22/BRS207	52	1688	5	2659		
4	EMB22/VI98053	64	2089	18	2529	1	3828
5	EMB22/IVI010041	54	1544	6	2524		
6	EMB22/Pioneiro	54	1649	4	2388		
7	EMB42/Anahuac	67	2043	17	2848	2	5038
8	EMB42/Aliança	41	1186	4	2269		
9	EMB42/BRS207	62	2220	23	2779	4	4148
10	EMB42/VI98053	48	1377	4	2236		
11	EMB42/IVI010041	39	1125	1	2317		
12	EMB42/Pioneiro	24	1635	3	2167		
13	BRS254/Anahuac	52	1323	5	2405		
14	BRS254/Aliança	41	1083				
15	BRS254/BRS207	46	857	1	1972		
16	BRS254/VI98053	34	905				
17	BRS254/IVI010041	42	1271	6	2454		
18	BRS254/Pioneiro	78	1567	11	2625	1	3572
19	BRS264/Anahuac	44	779	6	2585		
20	BRS264/Aliança	67	1781	31	2879	6	4059
21	BRS264/BRS207	64	1153	17	2726	1	4940
22	BRS264/VI98053	72	884	9	2589	1	4159
23	BRS264/IVI010041	48	772	6	2656	1	3612
24	BRS264/Pioneiro	72	796	6	2368		
25	IAC24/Anahuac	52	616	13	2876	2	4049
26	IAC24/Aliança	83	1658	55	3152	19	4435
27	IAC24/BRS207	70	1179	34	3006	8	4159
28	IAC24/VI98053	77	887	29	2759	3	4045
29	IAC24/IVI010041	69	1000	28	2990	9	4200
30	IAC24/ Pioneiro	85	1473	45	3163	13	4531
31	IAC364/Anahuac	43	806	3	2369		
32	IAC364/Aliança	65	959	9	2703	1	5334
33	IAC364/BRS 207	77	2764	55	3626	21	4979
34	IAC364/VI98053	78	1614	27	2677	5	3791
35	IAC364/IVI010041	46	1424	13	2985	2	4849
36	IAC364/ Pioneiro	57	963	8	2649		
	Média		1329		2654		4318

¹RG: rendimento de grãos.

ARTIGO 2

SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE TRIGO TOLERANTES AO CALOR

SELECTION OF WHEAT GENOTYPES TOLERANT TO HEAT

RESUMO

O estresse de calor prejudica o desenvolvimento do trigo afetando o rendimento de grãos e outras características agronômicas. Nesse sentido, identificar características associadas com o rendimento de grãos poderá auxiliar o melhorista na seleção de genótipos tolerantes ao calor. Objetivou-se neste trabalho identificar genótipos tolerantes ao estresse de calor e estimar o coeficiente de correlação genético entre caracteres estudados com o rendimento de grãos. O experimento foi conduzido no verão de 2012, semeadura em 16 de fevereiro, em Coimbra/MG, na área experimental pertencente à Universidade Federal de Viçosa (UFV), onde foram avaliados 217 famílias de trigo juntamente com três testemunhas em delineamento de blocos casualizados com duas repetições, avaliando o rendimento de grãos e outras características como temperatura de depressão da folha bandeira e da espiga. Observa-se variabilidade genética para todos os caracteres avaliados evidenciando possibilidade de seleção de genótipos tolerantes ao estresse de calor. Este estudo indica que a seleção de plantas tolerantes ao calor poderá ser realizada com sucesso pela seleção com base no rendimento de grãos e também pela seleção indireta via depressão da temperatura da folha bandeira e da espiga.

Palavras-chave: estresse abiótico, temperatura, correlação, *Triticum aestivum* L.

ABSTRACT

The heat stress impairs development affecting wheat grain yield and other agronomic traits. In this sense, to identify characteristics associated with grain yield can aid the breeder in the selection of genotypes tolerant to heat. The objective of this work was to identify genotypes tolerant to heat stress and to estimate the genetic correlation coefficient between characters studied with grain yield. The experiment was conducted in the summer of 2012, sown on February 16, Coimbra/MG, in the experimental area belongs to the Universidade Federal de Viçosa (UFV), where evaluated 217 families of wheat along with three witnesses in a randomized block design with two repetitions, grain yield and other characteristics such as temperature depression of the flag leaf and ear. Observed genetic variability for all traits indicating the possibility of selecting genotypes tolerant to heat stress. This study indicates that the selection of heat tolerant plants can be successfully accomplished by selection based on yield and also by indirect selection by depression of the temperature of the flag leaf and ear.

Key words: abiotic stress, temperature, correlation, *Triticum aestivum* L.

INTRODUÇÃO

No Brasil a produção de trigo (*Triticum aestivum* L.) nos últimos cinco anos, tem sido de aproximadamente cinco milhões de toneladas e representa cerca de 50% do consumo nacional (CONAB, 2012). Desenvolver estratégias agronômicas que vise ao aumento da produtividade do trigo deve abranger, principalmente, o maior

aproveitamento das áreas agricultáveis no Brasil (SCHEEREN, 1999). Neste contexto, no cerrado do Brasil Central constitui-se em alternativa viável para diversificação das regiões tritícolas e dar maior estabilidade na produção nacional. Entretanto, para que esta cultura seja competitiva economicamente é necessário germoplasma adaptado a condições de altas temperaturas. A ocorrência de temperaturas acima da faixa ideal para o bom desenvolvimento da planta de trigo é o principal entrave para a expansão da cultura (CARGNIN et al., 2009).

O excesso de calor afeta, negativamente, o desenvolvimento das plantas de trigo e, como consequência, reduz a produtividade de grãos (SOUZA & RAMALHO, 2001). Dessa forma, o desenvolvimento de genótipos tolerantes ao estresse térmico e com elevado rendimento de grãos é um dos objetivos dos programas de melhoramento genético de trigo (REYNOLDS et al., 2007; ORTIZ et al., 2008; MACHADO et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2011; AL-KARAKI, 2012).

Várias características tem sido utilizadas na seleção de genótipos tolerantes ao estresse de calor em trigo, como termoestabilidade de membrana celular, fluorescência da clorofila, teste do trifeniltetrazólio, proteínas de choque térmico e depressão da temperatura do dossel (SOUZA et al., 2011). Os autores relatam que esta última apresenta os melhores resultados em gerações relativamente avançadas no programa de melhoramento, necessitando de parcelas maiores e com maior homogeneidade.

Já AYENEH et al. (2002) verificaram com sucesso a utilização da depressão da temperatura de órgãos, como espiga e folha bandeira, como critério de seleção de genótipos tolerantes ao estresse térmico em gerações intermediárias. A depressão da temperatura é determinada pela diferença da temperatura do ar ambiente pela temperatura do órgão da planta. Este método baseia-se no princípio que as plantas de

trigo com maior tolerância ao calor apresentam maior diferença de temperatura, sendo capazes de manterem a temperatura dos órgãos em níveis normais, bem como as atividades de respiração e transpiração, em condições de estresse de calor (SOUZA et al., 2011).

A seleção de genótipos tolerantes ao calor tem sido tarefa de execução complexa, uma vez que os caracteres de importância agrônômica, predominantemente de herança quantitativa, apresentam base genética complexa, além de serem altamente influenciados pelo ambiente. Por isso, conhecer as associações destes caracteres é essencial ao melhorista de plantas, principalmente quando o objetivo for seleção indireta, por meio de um caráter de fácil mensuração ou de maior herdabilidade correlacionado ao caráter de interesse de menor herdabilidade (HARTWIG et al., 2007).

Objetivou-se neste trabalho identificar genótipos tolerantes ao estresse de calor e estimar o coeficiente de correlação genético entre caracteres estudados com o rendimento de grãos.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em 2012, na Estação Experimental dos Quartéis, pertencente à Universidade Federal de Viçosa (UFV), localizada no município de Coimbra-MG, na latitude de 20°45'S, longitude 42°51'W e a 720 m de altitude. A semeadura foi realizada em 16 de fevereiro, sendo denominada de verão, correspondendo à estação que apresenta temperaturas elevadas durante o ciclo da cultura. Foram avaliadas 217 famílias $F_{3;5}$, juntamente com as testemunhas: Aliança, cultivar recomenda para cultivo de sequeiro no Brasil Central com boa tolerância ao

calor; BRS 264 e Pioneiro são cultivares recomendadas para cultivo irrigado no Brasil Central, com menor tolerância ao calor. Estas famílias foram selecionadas com base em resultados de experimento conduzido em 2011 no mesmo local, onde foram avaliados 2010 famílias $F_{3;4}$ de 36 populações segregantes visando tolerância ao calor.

Foi utilizado o delineamento de blocos casualizados com duas repetições, sendo as parcelas compostas por duas linhas de um metro de comprimento, no espaçamento de 0,2 m entre linhas. O experimento foi irrigado por aspersão de acordo com a necessidade da cultura. A adubação foi realizada, aplicando-se 300 kg ha^{-1} de NPK da fórmula 08-28-16 no sulco de semeadura. Em cobertura, antes da diferenciação floral, foram utilizados 50 kg ha^{-1} de N, juntamente com 0,65 kg ha^{-1} de boro para controle da esterilidade masculina. Os demais tratamentos culturais foram realizados de acordo com as recomendações técnicas para a cultura do trigo (RCBPTT, 2010).

Os caracteres mensurados para cada tratamento foram: dias entre a emergência e o florescimento (DEF), determinado como o intervalo em dias entre a emergência das plantas e o espigamento de 50% do estande do tratamento; dias entre a emergência e a maturação (DEM), determinado como o intervalo em dias entre a emergência das plantas até a maturação fisiológica; estatura de planta (EST), determinação do comprimento do colmo em cm aos 21 dias após o espigamento; e rendimento de grãos (RG), determinado pela pesagem da produção total de cada tratamento, a qual foi transformada para kg ha^{-1} .

Durante o período de enchimento de grãos, fase entre o florescimento e a maturação fisiológica dos grãos, foram realizadas três medições de temperatura na superfície da folha bandeira e da espiga, em cada parcela; estas medições foram

realizadas com auxílio de termômetro digital infravermelho portátil (Mult Temp – Incoterm com escala de -60 a +500°C e precisão $\pm 2^\circ\text{C}$), mantendo a relação entre a distância e o tamanho do ponto do laser de 8:1. As medidas foram realizadas nos horários entre as 13 e 15h, em pleno sol, com ausência de nuvens e sempre com temperaturas superiores aos 32°C. A temperatura ambiente também foi coletada em cada parcela utilizando um termômetro analógico de máxima e mínima, tipo capela (escala de -38 a + 50°C e precisão de $\pm 1^\circ\text{C}$). O valor da depressão da temperatura dos órgãos foi calculado subtraindo a temperatura ambiente da temperatura dos órgãos, sendo medidas determinadas como depressão da temperatura da folha bandeira (DTFB) e depressão da temperatura da espiga (DTE). Os dados foram submetidos à análise de variância e de correlação. As médias dos tratamentos foram agrupadas segundo Scott e Knott ao nível de 5% de probabilidade. As análises genéticas-estatísticas foram realizadas pelo programa GENES (CRUZ, 2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela análise de variância constataram-se diferenças significativas ($p \leq 0,01$) entre os tratamentos avaliados (Tabela 1). A precisão do experimento foi considerada boa, cujos coeficientes de variação situaram entre 3,70 a 14,94 para todas as características avaliadas. As estimativas de herdabilidade foram elevadas e variaram de 0,69 a 0,92 considerados como valores elevados de acordo com FERREIRA FILHO et al. (1997), revelando que a seleção direta para os caracteres avaliados possibilita condições favoráveis em termo de ganho genético. Segundo SILVEIRA et al. (2010) resultados de elevada magnitude de herdabilidade são decorrentes da grande variância genética apresentada pelas famílias. As relações do CVg/CVe

apresentaram valores maiores que a unidade para todos os caracteres, indicando que métodos relativamente simples de seleção nestes caracteres podem ser promissores para obtenção de genótipos superiores (CRUZ et al., 2004).

As médias de todos os caracteres avaliados estão apresentadas na Tabela 1. Em relação a característica dias entre a emergência e o florescimento (DEF), este ocorreu com aproximadamente 44 dias, resultados semelhantes aos encontrados por OLIVEIRA et al. (2011) que verificaram 43 dias para o florescimento. Ocorreu a formação de três classes distintas para essa variável, no qual, tratamentos com média superior aos 48 dias, teoricamente, demonstram tolerância ao calor, comprovado pelo desempenho da testemunha Aliança com 51 dias (Tabela 2), cultivar classificada como média tolerância ao calor. Segundo CARGNIN et al. (2006), a redução no ciclo da cultura até o espigamento acarreta menor peso médio dos grãos e, conseqüentemente, ocasionam menor produção de grãos, em virtude do menor acúmulo de reservas obtido no período. Entretanto, a correlação obtida entre as variáveis dias entre a emergência e o florescimento (DEF) e rendimento de grãos (RG) foi negativa e de magnitude elevada de -0,94 (Tabela 3), ou seja, quanto menor o período de florescimento maior o rendimento. Podendo inferir-se que plantas precoces tendem a ser mais produtivas, concordando com WAHID et al. (2007) que consideram a precocidade uma característica de escape ao estresse térmico. Devendo considerar essa associação com cautela, pois considerando o significado biológico, plantas com reduzido período até o florescimento apresentariam máxima produção. Dessa forma, podem ser considerados os valores próximos a média como ideal para seleção de genótipos tolerantes ao calor.

A variável dias entre a emergência e maturação (DEM), ou seja, o ciclo total da cultura, demonstrou ser afetado pela presença do estresse de calor, apresentando

média próxima aos 78 dias (Tabela 1). Entre os tratamentos, ocorreu a formação de dois grupos para DEM, divididos em sensíveis e tolerantes ao calor, de acordo com o comportamento das testemunhas BRS 264 e Pioneiro (sensíveis) e Aliança (tolerante).

Para o caráter estatura de plantas (EST) a média dos tratamentos foi de aproximadamente 70 cm (Tabela 1). Nos estudos de CARGNIN et al. (2006) e OLIVEIRA et al. (2011) foram constadas médias de 71 e 72 cm no experimento conduzido com estresse de calor, enquanto que em condição favorável as médias foram de 109 e 112 cm. Foram verificadas a formação de três classes distintas, destacando as testemunhas BRS 264 e Pioneiro com reduzidas estaturas e a testemunha Aliança com estatura mediana. A terceira classe, com genótipos de estatura elevada, foge dos padrões ideais de cultivares de trigo, uma vez que plantas altas tendem a ser mais suscetíveis ao acamamento, resultando em redução no rendimento de grãos (SILVA et al., 2006). Porém não foi encontrada associação significativa entre EST e RG, preferindo sempre, ao realizar o processo de seleção de genótipos produtivos, optar por aqueles que apresentem estaturas medianas ou baixas.

A depressão da temperatura da folha bandeira (DTFB) e da espiga (DTE) apresentou expressiva variância fenotípica. A DTFB formou sete classes, enquanto que a DTE apresentou oito classes distintas. Merece destaque o desempenho dos 25 genótipos com maior rendimento de grãos quantos aos valores da depressão da temperatura (Tabela 2). Estes foram todos superiores a média de 7,97°C para DTFB e de 8,25°C para DTE (Tabela 1), exceto para o tratamento 174 para DTE. Este fato pode ser explicado pelos elevados valores do coeficiente de correlação (0,83) para DTFB e RG e 0,82 para DTE e RG (Tabela 3).

Correlação elevada das características DTFB e DTE com o rendimento de grãos também foram verificadas por AYENEH et al. (2002). Resultados similares foram obtidos por REYNOLDS et al. (2001) ao avaliar a característica depressão da temperatura do dossel e rendimento de grãos. Assim, as plantas tolerantes ao calor são capazes de manterem suas estruturas em temperaturas em níveis normais, amenizando os efeitos do estresse de calor.

As variáveis DTFB e DTE por serem de fácil mensuração e, principalmente, por apresentarem elevada correlação com rendimento de grãos podem ser utilizadas na identificação de genótipos tolerantes ao calor já na fase reprodutiva.

Para a maioria das grandes culturas, a produção de grãos é a característica mais importante em um programa de melhoramento genético. Assim, é importante que exista variabilidade genética, para a obtenção de ganhos com a realização da seleção (CARGNIN et al., 2006). Com base no teste de comparação de médias foi observada a formação de seis classes distintas para rendimento de grãos, possibilitando a discriminação de genótipos sensíveis e tolerantes ao estresse de calor. A média para o rendimento de grãos (RG) foi de 1872 kg.ha⁻¹ (Tabela 1) resultados similares aos observados por CARGNIN et al. (2006), MACHADO et al. (2010) e OLIVEIRA et al. (2011). Na Tabela 2 são apresentados os genótipos com os melhores desempenhos para RG, destacando-se os tratamentos 152, 128, 156, 69 e 198 com os promissores (Tabela 2), os quais apresentam rendimentos superiores a melhor testemunha (Aliança), demonstrando elevada tolerância ao calor.

O sucesso de um programa de melhoramento é dependente da avaliação de grande número de indivíduos ou famílias e de metodologias eficientes para identificar aquelas mais promissoras. Neste contexto é possível verificar entre os tratamentos avaliados genótipos promissores para condições de cultivo de estresse de

calor, os quais apresentam além de elevado rendimento de grãos, ciclo e estatura de planta reduzidos, aliado a capacidade de manutenção de temperaturas adequadas nos tecidos das plantas, a exemplo dos tratamentos 19, 31, 125, 127, 128, 129, 132, 152, 159, 173, 207 e 211 (Tabela 2).

CONCLUSÕES

Há diferenças de tolerâncias ao estresse de calor entre os tratamentos testados, com possibilidade de seleção de genótipos tolerantes ao estresse térmico.

A seleção de plantas tolerantes ao calor poderá ser realizada com sucesso pela seleção individual com base no rendimento de grãos e pela seleção indireta via depressão da temperatura da folha bandeira e da espiga.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem o CNPq, à CAPES e à FAPEMIG pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

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.

AYENEH, A.; VAN GINKEL, M.; REYNOLDS, M.P.; AMMAR, K. Comparison of leaf, spike, peduncle and canopy temperature depression in wheat under heat stress. **Field Crops Research**, v.79, n.2-3, p.173-184, 2002.

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

CARGNIN, A.; SOUZA, M.A.; FRONZA, V.; FOGAÇA, C.M. Genetic and environmental contributions to increased wheat yield in Minas Gerais, Brazil. **Scientia Agricola**, v.66, p.317-322, 2009.

COELHO, M.A.O.; CONDÉ, A.B.T.; YAMANAKA, C.H.; CORTE, H.R. Avaliação da produtividade de trigo (*Triticum aestivum* L.) de sequeiro em Minas Gerais. **Bioscience Journal**, v.26, n.5, p.717-723, 2010.

CONAB – **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em 28 de Abril de 2012.

CRUZ, C.D. (2007) **Programa Genes - Aplicativo computacional em genética e estatística**. Versão Windows. <www.ufv.br/dbg/genes/genes.htm>.

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

FERREIRA FILHO, A.W.P.; CAMARGO, C.E.O.; YALAO SUNA, J. Melhoramento do trigo: XXXI. herdabilidades e correlações entre três características agronômicas em populações híbridas. **Bragantia**, v.56, n.2, 1997.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 11 ed., Piracicaba: Nobel, 1985. 466p.

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**, v.66, n.2, p.203-218, 2007.

MACHADO, J.C.; SOUZA, M.A.; OLIVEIRA, D.M.; CARGNIN, A.; PIMENTEL, A.J.B.; ASSIS, J.C. Recurrent selection as breeding strategy for heat tolerance in wheat. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.10, p.9-15, 2010.

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

ORTIZ, R.; SAYRE, K.D.; GOVAERTS, B.; GUPTA, R.; SUBBARAO, G.V.; BAN, T.; HODSON, D.; DIXON, J.M.; ORTIZ-MONASTERIO, J.I.; REYNOLDS, M. Climate change: can wheat beat the heat? **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v.126, p.46-58, 2008.

REUNIÃO DA COMISSÃO BRASILEIRA DE PESQUISA DE TRIGO E TRITICALE. **Informações técnicas para trigo e triticale – safra 2011**. Cascavel: COODETEC, 2010. 170p.

REYNOLDS, M.P.; NAGARAJAN, S.; RAZZAQUE, M.A.; AGEEB, O.A.A. **Heat tolerance**. In: REYNOLDS, M.P.; ORTIZ-MONASTERIO, J.I.; MCNAB, A. (eds) *Application of Physiology in Wheat Breeding*. CIMMYT, México, p.124-135, 2001.

REYNOLDS, M.P.; PIERRE, C.S.; SAAD, A.S.I.; VARGAS, M.; CONDON, A.G. Evaluating potential genetic gains in wheat associated with stress-adaptive trait expression in elite genetic resources under drought and heat stress. **Crop Science**, v.47, p.172-189, 2007.

RODRIGUES, O.; HAAS, J.C.; COSTENARO, E.R. Manejo de trigo para alta produtividade II: caracterização ontogenética. **Revista Plantio Direto**, v.20, n.125, p.10-13, 2011.

SCHEEREN, P.L. **Trigo no Brasil**. In: CUNHA, G. R.; TROMBINI, M. F. Trigo no Mercosul: coletânea de artigos. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 1999. p.122-133.

SILVA, J.A.G.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; VIEIRA, E.A.; BENIN, G.; VALERIO, I.P.; CARVALHO, M.F.; FINATTO, T.; BUSATO, C.C.; RIBEIRO, G. Correlação de acamamento com rendimento de grãos e outros caracteres de interesse agrônomo em plantas de trigo. **Ciência Rural**, v.36, n.3, 2006.

SILVEIRA, G.; MOLITERNO, E.; RIBEIRO, G.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C.; NORBERG, R.; BARETTA, D.; MEZZALIRA, I. Variabilidade genética para características agrônomicas superiores em cruzamentos biparentais de aveia preta. **Bragantia**, v.69, n.4, p.823-832, 2010.

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. p.199-226, 2011.

WAHID, A.; GELANI, S.; ASHRAF, M.; M.R. FOOLAD. Heat tolerance in plants: An overview. **Environmental and Experimental Botany**, v.61, p.199-223, 2007.

YILDIRIM, M.; BAHAR, B. Responses of some wheat genotypes and their F₂ progenies to salinity and heat stress. **Scientific Research and Essays**, v.5, n.13, p.1734-1741, 2010.

TABELA 1: Resumo das análises de variância, média e estimativa do coeficiente de variação (CV), razão entre o coeficiente de variação genético e ambiental (CVg/CVe) e herdabilidade para os caracteres os caracteres dias da emergência ao florescimento (DEF), em dias; dias da emergência a maturação (DEM), em dias; estatura de planta (EST), em cm; depressão da temperatura da folha bandeira (DTFB), em °C; depressão da temperatura da espiga (DTE), em °C; e rendimento de grãos (RG), em kg.ha⁻¹, em genótipos de trigo submetidos ao estresse de calor no verão de 2012, em Viçosa (MG), 2012.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios					
		DEF	DEM	EST	DTFB	DTE	RG
Blocos	1	0,08	7,65	677,54	2,13	0,17	1146991,42
Tratamentos	219	21,48**	26,89**	130,89**	4,07**	3,32**	696661,50**
Resíduo	219	6,46	8,22	37,51	0,31	0,28	78225,78
Média		43,52	77,51	69,60	7,97	8,25	1872,04
CV (%)		5,84	3,70	8,80	6,99	6,47	14,94
CVg/CVe		1,08	1,07	1,12	2,46	2,31	1,19
Herdabilidade		0,70	0,69	0,71	0,92	0,91	0,88

** Significativo a 1% de probabilidade de erro, pelo teste F.

TABELA 2: Média dos caracteres dias da emergência ao florescimento (DEF), em dias; dias da emergência a maturação (DEM), em dias; estatura de planta (EST), em cm; depressão da temperatura da folha bandeira (DTFB), em °C; depressão da temperatura da espiga (DTE), em °C; e rendimento de grãos (RG), em kg.ha⁻¹, avaliados em três testemunhas (Aliança, BRS 264, Pioneiro) e 25 tratamentos com melhor desempenho em relação ao rendimento de grãos, submetidos ao estresse de calor no verão de 2012, Viçosa/MG, 2012.

Tratamento	DEF	DEM	EST	DTFB	DTE	RG
Aliança	51 a ¹	83 a	78 b	8,5 d	8,7 d	1479 d
BRS 264	41 c	74 b	64 c	7,0 e	7,7 e	1341 e
Pioneiro	41 c	73 b	65 c	7,6 e	8,1 e	1245 e
12	45 b	79 a	73 b	8,0 e	8,7 d	3135 b
19	43 c	78 b	76 b	8,9 d	9,6 c	2702 b
31	35 c	72 b	61 c	9,8 c	10,4 c	2943 b
55	48 a	83 a	84 a	10,0 c	9,3 d	2819 b
69	48 a	83 a	69 c	9,6 d	9,8 c	3460 a
73	41 c	78 a	65 c	8,8 d	9,6 c	2628 b
78	43 c	82 a	73 b	9,3 d	8,7 d	2640 b
97	46 b	83 a	80 a	10,4 c	10,1 c	2696 b
125	43 c	78 b	65 c	9,3 d	10,0 c	2689 b
127	44 b	74 b	63 c	10,0 c	9,8 c	3089 b
128	39 c	72 b	57 c	10,1 c	9,8 c	3808 a
129	44 b	73 b	63 c	8,9 d	9,0 d	2683 b
132	44 c	75 b	73 b	9,4 d	9,6 c	2630 b
152	43 c	76 b	69 c	9,8 c	9,8 c	3818 a
156	43 c	82 a	83 a	11,7 b	10,9 b	3465 a
159	40 c	78 b	76 b	12,3 b	10,9 b	3043 b
173	39 c	74 b	79 b	8,0 e	8,8 d	2596 b
174	43 c	76 b	83 a	8,6 d	7,9 e	2771 b
180	45 b	80 a	80 a	9,1 d	9,3 d	2619 b
181	45 b	81 a	85 a	9,9 c	10,4 c	3044 b
190	45 b	79 a	68 c	9,7 d	9,6 c	2859 b
198	44 c	74 b	70 c	10,7 c	9,5 c	3321 a
206	44 b	81 a	87 a	10,4 c	10,1 c	3150 b
207	44 c	77 b	65 c	8,9 d	8,7 d	2669 b
211	43 c	74 b	62 c	8,5 d	8,2 e	2662 b

¹Médias seguidas da mesma letra na vertical pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott e Knott ao nível de 5% de significância.

TABELA 3: Coeficientes de correlação genotípica entre os caracteres dias da emergência ao florescimento (DEF), em dias; dias da emergência a maturação (DEM), em dias; estatura de planta (EST), em cm; depressão da temperatura da folha bandeira (DTFB), em °C; depressão da temperatura da espiga (DTE), em °C; e rendimento de grãos (RG), em kg.ha⁻¹, em genótipos de trigo submetidos ao estresse de calor no verão de 2012, Viçosa/MG, 2012.

Variáveis	DEF	DEM	EST	DTFB	DTE	RG
DEF	1,00	0,95**	-0,05	-0,89*	-0,88*	-0,94**
DEM		1,00	0,09	-0,91*	-0,88*	-0,92**
EST			1,00	-0,34	-0,33	-0,07
DTFB				1,00	0,99**	0,83*
DTE					1,00	0,82*
RG						1,00

** , * : Significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste “t”, respectivamente.

CONCLUSÕES GERAIS

Para o desenvolvimento de genótipos tolerantes ao estresse de calor, voltados para regiões promissoras, como o Brasil Central, deve-se conhecer e compreender os efeitos e as alterações que o estresse de calor provoca sobre o desenvolvimento das plantas de trigo, bem como as características utilizadas na identificação de genótipos tolerantes.

A existência de variabilidade genética entre as populações avaliadas para tolerância ao calor apresenta a possibilidade de sucesso na seleção de famílias tolerantes ao estresse de calor, principalmente com base no desempenho elevado de rendimento de grãos, destacando as populações segregantes IAC364/BRS207, IAC24/Aliança e IAC24/Pioneiro como as mais promissoras.

A seleção de plantas tolerantes ao calor poderá ser realizada com sucesso pela seleção individual com base no rendimento de grãos e pela seleção indireta via depressão da temperatura da folha bandeira e da espiga.