



ABEL JAMIR RIBEIRO BASTOS

**CARACTERES AGRONÔMICOS E TROCAS GASOSAS NA
IDENTIFICAÇÃO DE GENÓTIPOS DE BATATA
TOLERANTES AO CALOR**

**LAVRAS-MG
2019**

ABEL JAMIR RIBEIRO BASTOS

**CARACTERES AGRONÔMICOS E TROCAS GASOSAS NA IDENTIFICAÇÃO DE
GENÓTIPOS DE BATATA TOLERANTES AO CALOR**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. César Augusto Brasil Pereira Pinto
Orientador

**LAVRAS-MG
2019**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Bastos, Abel Jamir Ribeiro.

Caracteres agronômicos e trocas gasosas na identificação de
genótipos de batata tolerantes ao calor / Abel Jamir Ribeiro Bastos.
- 2019.

61 p. : il.

Orientador(a): César Augusto Brasil Pereira Pinto.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Solanum tuberosum. 2. Respostas fisiológicas. 3. Tolerância
ao calor. I. Pinto, César Augusto Brasil Pereira. II. Título.

ABEL JAMIR RIBEIRO BASTOS

**CARACTERES AGRONÔMICOS E TROCAS GASOSAS NA IDENTIFICAÇÃO DE
GENÓTIPOS DE BATATA TOLERANTES AO CALOR**

**AGRONOMIC TRAITS AND GAS EXCHANGES IN THE IDENTIFICATION OF
HEAT TOLERANT POTATO GENOTYPES**

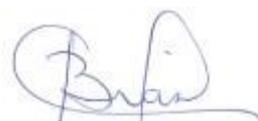
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 18 de julho de 2019.

Dr. César Augusto Brasil Pereira Pinto, UFLA

Dr. Cleiton Lourenço de Oliveira, UFLA

Dr. Hugo Adelante de Mesquita, EPAMIG



Prof. Dr. César Augusto Brasil Pereira Pinto
Orientador

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida, pois sem Ele nada seria possível.

À minha família, em especial aos meus pais Jair Meireles e Noeme Ribeiro, e meus irmãos Rafael e Gabriel, que me ajudaram grandemente para realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Lavras - UFLA por todo suporte estrutural que permitiu a concretização desta dissertação.

Às agências de fomento, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de mestrado, CAPES e FAPEMIG pelos auxílios concedidos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas (PPGMP), pela oportunidade de estudo e desenvolvimento das atividades.

Ao meu orientador César Augusto Brasil Pereira Pinto, que deste o início me deu o suporte e apoio necessário. Agradeço pela paciência e tranquilidade em discutir e ajudar.

A todos os professores do programa que muito me acrescentaram em conhecimento teórico e prático desde o início, em especial ao José Airton, João Cândido, Flávia Avelar, Magno Ramalho, Adriano Bruzi, Flávia Barbosa, Evandro Novaes e Welison Pereira.

Ao professor Evaristo de Castro, ao técnico Ítalo Fernandes e ao Márcio Pereira pela ajuda concedida, disponibilidade do IRGA e pelo tempo disponível durante as avaliações.

A toda equipe do PROBATATA com os quais pude trabalhar, sempre com disposição e parceria nos diversos dias cansativos que todos tiveram: Marcio Guedes, Mario Henrique, Maiara Oliveira, Claudio Fernandes e, em especial, às companheiras Luana Simões e Rafaela Carvalho. Agradeço a todos pela significativa contribuição para realização deste trabalho.

Aos funcionários Raimundo Ferreira (Ramon), pelo considerável esforço e ajuda na condução dos experimentos e que muito me ensinou durante os trabalhos em campo, e ao Lamartine pela disponibilidade em ajudar e pelos bons momentos de convívio.

Aos funcionários Léo, Anderson e Otavio da fazenda experimental da UFLA por toda ajuda nos trabalhos de campo sempre que solicitados.

Aos companheiros da turma de mestrado 2017/2 pela convivência e amizade: Ewerton, João, Hugo e, especialmente, à Nina Soares por toda ajuda, atenção e parceria durante os dois anos. Ao conterrâneo e amigo Rafael Marlon também sempre presente desde a graduação.

Às funcionárias Dona Iron, Rafaela e Zélia por estarem sempre dispostas a ajudar. À Lilian por todas as informações, bom humor e ajuda disponibilizados durante o mestrado.

A todos que de alguma forma ajudaram e contribuíram para realização deste trabalho.

RESUMO

O aumento das temperaturas afeta não apenas o conforto e bem-estar humano, mas principalmente os cultivos agrícolas, reduzindo a produtividade, o desempenho e a qualidade dos produtos das diversas culturas. A batata é uma delas, pois representa um dos principais cultivos, sendo um dos mais importantes para alimentação humana. Porém muito sofre com os efeitos do calor principalmente nos países de clima tropical, já que seu processo inicial de melhoramento foi realizado em países de clima temperado. Os objetivos deste trabalho foram observar o comportamento de clones de batata em condições com estresse e sem estresse de calor quanto à produtividade de tubérculos e o desempenho de trocas gasosas, de modo a identificar caracteres nas repostas fisiológicas das plantas que associem o rendimento dos genótipos à tolerância ao calor. Os experimentos foram realizados em campo na fazenda experimental da Universidade Federal de Lavras – UFLA, e consistiram em dois experimentos organizados no delineamento em blocos completos casualizados, com 25 tratamentos e três repetições. O primeiro foi realizado durante a safra com estresse de calor e o segundo na safra sem estresse de calor. Foram realizadas avaliações agronômicas quanto a produtividade de tubérculos após a colheita, bem como medições das trocas gasosas foliares em quatro épocas durante o ciclo da cultura aos 40, 55, 70 e 85 dias após ao plantio (DAP). Ao final, também foram observados índices para identificação de genótipos quanto à tolerância ao calor e sensibilidade ao estresse. Os genótipos de batata, sob condições de estresse (temperaturas médias de 25,1 °C e máximas de 37,5 °C), apresentaram elevadas reduções no desempenho agronômico quanto a produtividade total, produtividade de tubérculos graúdos e número de tubérculos. Também apresentaram elevadas taxas de desordens fisiológicas e redução no teor de matéria seca dos tubérculos. Os processos fisiológicos foram bastante afetados entre as duas safras. Na safra com estresse foram observados aumentos na taxa fotossintética no início do ciclo das plantas, seguidos de aumentos também na condutância dos estômatos e transpiração. A eficiência dos processos fisiológicos avaliados por meio da eficiência do uso da água, eficiência intrínseca do uso da água e eficiência de carboxilação, entretanto, foi significativamente maior na safra sem estresse. Por meio de clones tolerantes e sensíveis selecionados a partir dos índices de seleção e análises gráficas, foi possível observar o comportamento dos genótipos durante o ciclo. Diferenças marcantes nas respostas fisiológicas entre os clones foram observadas a partir do final do ciclo da cultura aos 70 e 85 dias, enquanto que a fotossíntese e a eficiência intrínseca do uso da água foram os parâmetros fisiológicos com maior associação aos caracteres agronômicos em condições com estresse e sem estresse de calor.

Palavras-chave: *Solanum tuberosum*. Respostas fisiológicas. Tolerância ao calor.

ABSTRACT

Rising temperatures affect not only human comfort and well-being, but most agricultural production, reducing yield, performance and product quality of the various cultivated crops. The potato crop is one of them, as it represents one of the major crops and one of the most important for human consumption. On the other hand, this crop is greatly affected by the effects of heat mainly in countries of the tropical climate, since its initial process of improvement was started in temperate countries. The objectives of this work were to observe the behavior of potato clones to heat stress and without heat stress conditions on tuber yield and on the performance of gas exchanges, in order to identify characters in the physiological responses of the plants that associate the yield of the genotypes with the heat tolerance. The experiments were carried out at the experimental farm of the Universidade Federal de Lavras - UFLA and consisted of two experiments arranged in a complete randomized block design, with 25 treatments and three replications. The first one was carried out during the harvest with heat stress and the second in the harvest without heat stress. Agronomic evaluations were performed on tuber yield, as well as measurements of foliar gas exchanges at four times during the crop cycle, at 40, 55, 70 and 85 days after planting (DAP). In the end, indices for identification of genotypes were also evaluated regarding heat tolerance and stress sensitivity. Potato genotypes, under stress conditions (average temperatures of 25,1 ° C and maximum of 37,5 ° C), had high reductions in agronomic performance regarding total yield, yield of large tubers and number of tubers. They also presented high rates of physiological disorders and reduction in tubers dry matter content. The physiological processes were quite affected among the two harvests. In the harvest with heat stress were observed increases in the photosynthetic rate of the plants, as well as increases in stomatal conductance and transpiration rates. The efficiency of the physiological processes evaluated through water use efficiency, intrinsic water use efficiency and carboxylation efficiency, however, was significantly higher in the stress-free condition. Through tolerant and sensitive clones selected from the selection indices and graphical analysis, it was possible to observe the behavior of the genotypes along the crop cycle. Significant differences in physiological responses in different clones were observed at the end of the crop cycle from 70 to 85 days, while photosynthesis and intrinsic water use efficiency were the physiological parameters with the highest association with agronomic traits under stress-free and heat stress conditions.

Keywords: *Solanum tuberosum*. Physiological responses. Heat tolerance.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	3
2 REFERENCIAL TEÓRICO	5
2.1 Importância econômica da batata no mundo e no Brasil	5
2.2 Influência da temperatura no desenvolvimento da batata	5
2.3 Mecanismos de resposta e tolerância ao calor nas plantas	7
2.3.1 Trocas gasosas	8
2.4 Melhoramento visando tolerância ao calor em batata	10
3 MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 Local e condução dos experimentos	13
3.2 Clones experimentais	13
3.3 Avaliação agronômica	14
3.4 Índices	15
3.4.1 Índice de Seleção (ISe)	15
3.4.2 Índice de Suscetibilidade (ISu)	15
3.4.3 Índice de Tolerância (IT)	15
3.5 Análise gráfica	16
3.6 Trocas gasosas	16
3.7 Análises estatísticas	17
4 RESULTADOS	19
4.1 Variação da temperatura do ar	19
4.2 Caracteres agronômicos	20
4.2.1 Número de tubérculos graúdos, peso médio de graúdos e desordens fisiológicas	20
4.2.2 Produtividade de tubérculos e teor de matéria seca	23
4.2.3 Índices	26
4.3 Respostas fisiológicas	31
4.3.1 Variação da temperatura do dossel da planta	31
4.3.2 Trocas gasosas	32
5 DISCUSSÃO	42
5.1 Estresse por calor e caracteres agronômicos	42
5.2 Estresse por calor, trocas gasosas e eficiência dos processos fisiológicos	45
6 CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1 INTRODUÇÃO

A batateira (*Solanum tuberosum* L.) é originária dos Andes, região caracterizada pelas elevadas altitudes na América do Sul e encontrada em maior número de variedades selvagens no Peru, Bolívia, Colômbia, Equador e no Chile. Foi levada da América para a Europa pelos colonizadores espanhóis no século XVI, onde foi domesticada e melhorada, espalhando-se por todo mundo e consumida por mais de um bilhão de pessoas (CIP, 2011).

Grande parte das cultivares utilizadas pelos produtores brasileiros são importadas, seja de origem norte americana (Atlantic) ou europeia (Ágata, Asterix, Cupido e Markies) e, portanto, adaptadas a temperaturas mais amenas, sofrendo os efeitos adversos das temperaturas mais elevadas de países tropicais como o Brasil (MENEZES; PINTO; LAMBERT, 2001), entre outros fatores. Além disso, apesar da elevada produtividade alcançada por estas cultivares, tal produção é limitada às regiões de clima ameno, diferentemente das regiões tropicais, onde é exigido um controle muito intenso de pragas e doenças. Nesse sentido, a falta de adaptação das cultivares implica em alto custo de produção e elevado uso de defensivos químicos (DELEO; CARDOSO, 2014).

No hemisfério Norte o clima temperado favorece um bom desempenho das cultivares e possibilita que em alguns países a produtividade supere 43 t. ha⁻¹, como Estados Unidos, Bélgica, Alemanha, Holanda, Irlanda e Dinamarca (FAO, 2017). Entretanto, no clima tropical a produtividade é baixa, fazendo com que o Brasil tenha rendimento médio estimado para o ano de 2019 em 30,45 t. ha⁻¹ (IBGE, 2019). Desse modo, observa-se que a produtividade média da cultura no Brasil ainda é muito baixa quando comparada com a de tais países, muito devido à falta de genótipos adaptados às nossas condições climáticas de cultivo e produção.

Questões relacionadas às mudanças climáticas aumentaram a intensidade do estresse térmico que afeta negativamente as culturas agrícolas em geral, resultando em graves perdas econômicas, particularmente nos países dependentes da agricultura (GOVINDARAJ et al., 2018). Estima-se que os riscos das mudanças climáticas globais sejam tão altos quanto o aumento de 4 °C ou mais na temperatura média do planeta, o que representaria grandes riscos para a segurança alimentar global e regional (IPCC, 2014).

Além disso, Hijmans (2003) por meio de predições baseadas em modelos de aquecimento global para os próximos 60 anos estimou perdas na produtividade da bataticultura na faixa de 18 a 32%, mas que podem ser reduzidas para 9-18% caso haja adaptações no manejo de produção com relação ao uso de cultivares tolerantes ao calor e a escolha da época de plantio.

Não por menos, em diversas regiões ao redor do globo as preocupações com o aquecimento global e o aumento das temperaturas impulsionam estudos relacionados aos seus impactos na produtividade e à busca por genótipos cada vez mais tolerantes ao estresse por calor na batateira (RAO et al., 2018; TANG et al., 2018; DEMIREL et al., 2017; KIM; LEE, 2016; LIZANA et al., 2017).

Esse aumento nas temperaturas ao redor do mundo causa diminuição da produtividade, da matéria seca de tubérculos, e os depreciam devido às desordens fisiológicas, ocasionando um descompasso no desempenho do aparato fotossintético da planta, pois reduzem as taxas fotossintéticas, bem como condutância estomática e a assimilação de carbono. Nesse sentido, os trabalhos de melhoramento genético com intuito de obter cultivares mais adaptadas para esta condição são de extrema necessidade para a bataticultura nacional (PINTO et al., 2010), principalmente quando levam em consideração o entendimento dos mecanismos fisiológicos, como variáveis adicionais no processo típico de avaliação e seleção de genótipos, objetivando sempre maior progresso no melhoramento da cultura (SOUZA et al., 2011).

Alterações em diversos atributos fotossintéticos e fisiológicos já foram observadas e relatadas como bons indicadores da tolerância térmica sob condições de estresse por calor, pois apresentam boa correlação com as variáveis de crescimento e produtividade de tubérculos (AIEN et al., 2011; DEMIREL et al., 2017) podendo ser avaliadas em conjunto com os caracteres tradicionalmente já utilizados no melhoramento.

O investimento em programas de melhoramento de batata, visando desenvolver clones adaptados às condições nacionais de cultivo, com tolerância ao calor e elevada produtividade torna-se essencial, pois sua obtenção é a alternativa mais viável para tornar a cultura mais produtiva e rentável para os produtores em geral (GADUM et al., 2003).

Os objetivos deste trabalho foram observar o comportamento de clones de batata em condições com estresse e sem estresse de calor quanto à produtividade de tubérculos e o desempenho de trocas gasosas, de modo a identificar caracteres nas repostas fisiológicas das plantas que associem o rendimento dos genótipos à tolerância ao calor.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância econômica da batata no mundo e no Brasil

A batateira é considerada uma das principais hortaliças tanto em área e produção quanto em uso alimentício (FILGUEIRA, 2003; FAO, 2018), sendo também um alimento base mundialmente e a terceira cultura mais importante para alimentação, superada apenas pelo arroz e pelo trigo (TANG et al., 2018; FAO, 2017).

Sua produção gira em torno de 388 milhões de toneladas por ano em área de 19,3 milhões de hectares, sendo também considerada uma das opções potenciais para reduzir a fome no mundo, tendo como maior país produtor a China, seguida pela Índia e Rússia, cuja quantidade em conjunto corresponde a quase 50% da produção mundial, segundo dados oficiais e estimativas (FAO, 2017).

O cenário da produção e contribuição brasileira gira em torno de apenas 1% no montante de batata produzida no mundo, o que corresponde a cerca de 3,8 milhões de toneladas, em uma área de aproximadamente 127 mil hectares, e produtividade média de 30,29 t. ha⁻¹, segundo confirmado no total das safras de 2018. As principais regiões produtoras, e suas participações no montante acumulado nesta safra, foram: Sudeste (54,4%), Sul (34,6%), Centro Oeste (5,7%) e Nordeste (5,3%) (IBGE, 2019). Na primeira safra, porém, destacam-se os estados da região Sul (56,3% da produção), liderados pelo Paraná e Rio Grande do Sul, como os principais produtores da região, além de Minas Gerais, enquanto na segunda safra o destaque torna-se o Sudeste do país com quase 60% da produção nacional, sendo Minas Gerais (36,4%) e São Paulo (22,5%) os maiores produtores, junto ao Paraná, com 25,1% de participação nesta parte da safra (IBGE, 2019).

2.2 Influência da temperatura no desenvolvimento da batata

Grande parte das cultivares de batata utilizadas no Brasil é oriunda de programas de melhoramento desenvolvidos em países de clima temperado, principalmente da Europa (PINTO et al., 2010). Assim, as cultivares presentes não são completamente adaptadas às nossas condições e por esse motivo o melhoramento para estas condições deve ser conduzido visando o ambiente normalmente presente no país, com fotoperíodos mais curtos e temperaturas mais elevadas, além de necessitar maior atenção também a alta pressão de incidência de pragas e doenças (PINTO, 1999).

A temperatura é o principal obstáculo para a produção de batata em regiões tropicais, pois induz acentuada redução na produção e qualidade de tubérculos, bem como na redução do teor de matéria seca dos tubérculos e aumento no número de desordens fisiológicas (HAYNES; HAYNES, 1983; MENEZES; PINTO; LAMBERT, 2001).

Alguns autores como Fontes e Finger (1999) recomendam como condições ideais para o cultivo um ambiente com maior número de horas de luz e mais dias com temperaturas mais amenas, entre 18 e 23°C durante o dia, noites frias em torno de 10 a 16°C e, preferencialmente, o mínimo possível de horas do dia com mais de 25°C. Afirmam ainda que em condições de altas temperaturas a respiração aumenta rapidamente, reduzindo a fotossíntese líquida e a produção de tubérculos. Temperaturas mais elevadas causam ainda crescimento exacerbado da parte aérea, alta respiração e baixa partição de matéria seca para os tubérculos. Para Levy e Veilleux (2007), a faixa de temperatura média ideal para a cultura da batata está entre 14 e 22 °C, sendo que a maioria das cultivares comerciais tuberiza melhor com temperaturas médias de 20 °C.

Por outro lado, assume-se que em temperaturas inferiores a 5 °C, o risco de geadas à noite é grande e o desenvolvimento da planta é muito lento. Já em temperaturas médias diárias acima de 21°C, o calor é excessivo para o crescimento e desenvolvimento da cultura. Esse intervalo corresponde a uma temperatura média (dia e noite) na faixa de 15 e 27 °C (HAVERKORT; VERHAGEN, 2008).

Por isso, em geral as maiores produtividades são obtidas em região de clima mais moderado com temperatura ótima de crescimento em torno de 20°C (SAVIĆ et al., 2012). Struik (2007), relata efeitos adversos das altas temperaturas no crescimento e desenvolvimento da batata similares aos supracitados, como o crescimento mais acentuado do caule, inibição do início da tuberização, redução do crescimento radicular, além de desordens fisiológicas a exemplo de rachaduras, embonecamentos e coração-oco (RYKACZEWSKA, 2015) e redução da fotossíntese líquida com aumento da respiração, principalmente em temperaturas superiores à 24°C (BENINCASA, 1988).

Como já citado, os processos fisiológicos das plantas e, especialmente da batata, são afetados de forma generalizada sob condições de altas temperaturas. Timlin et al. (2006) afirmam, por exemplo, que as taxas fotossintéticas ótimas na batata reduzem em função do estresse e que o máximo acúmulo de biomassa ocorre com temperatura em torno dos 20°C, enquanto que em clones sensíveis ao estresse por calor ocorrem reduções na taxa fotossintética de magnitudes bem maiores (HAMMES; DE JAGER, 1990), principalmente na fase inicial da tuberização e posterior enchimento do tubérculo (AIEN et al., 2011).

Além da fotossíntese, impacto importante do aumento na temperatura é sobre o processo de transporte de elétrons ligados à membrana em ambos os lados doador e receptor do fotossistema II, interrompendo também o suprimento de poder redutor (FENG et al., 2014; TAIZ et al., 2017).

Outro ponto importante reside no fato de que as respostas das cultivares de batata a altas temperaturas dependem do estágio de desenvolvimento em que a temperatura atua sobre as plantas. Rykaczewska (2015) explica que quanto mais cedo o estresse ocorre, mais prejudicial é seu impacto no crescimento e na produção total de tubérculos.

2.3 Mecanismos de resposta e tolerância ao calor nas plantas

As plantas são acometidas por várias alterações em seus processos fisiológicos e desenvolvimento vegetal devido ao calor. Essas mudanças variam de acordo com o estado fenológico em que a planta se encontra, podendo ser de maior ou menor intensidade ao longo do início ou final de seu ciclo, bem como também variando em função do período de exposição ao estresse. Tais circunstâncias podem afetar desde a germinação, crescimento inicial e vigor até a partição de matéria seca, redução da produtividade, senescência e morte (WAHID, 2007).

Entretanto, as plantas apresentam mecanismos para lidar com os mais variados estresses abióticos, inclusive o térmico. As respostas das plantas a elevadas temperaturas, por exemplo, podem ser mediadas pelas suas habilidades de sobrevivência inerente ao vegetal (tolerância basal) e suas habilidades em adquirir tolerância contra outras situações de temperaturas ainda maiores (aclimatação) (GUPTA et al., 2013). Quanto à aclimatação, por exemplo, submeter plantas a elevadas temperaturas, mas não letais, pode propiciar proteção contra algum estresse por calor subsequente e adquirindo aclimatação ao calor (VÉGH et al., 2018). De modo geral, essas respostas seguem várias rotas metabólicas na planta, culminando com alterações morfológicas, anatômicas e moleculares.

Em outros casos, mecanismos fisiológicos e bioquímicos podem estar relacionados com a tolerância à altas temperaturas, significando, por vezes, uma menor atividade de enzimas na batata, como a amilase e invertase, e o menor acúmulo de amido nas folhas (BASU; MINHAS, 1991).

Em geral, para sobreviver sob estresse térmico, as plantas cultivadas podem manifestar estratégias a curto e longo prazo, como mudanças evolutivas. Os mecanismos de evitar ou aclimatar a curto prazo, como supracitados neste tópico, incluem alterar a orientação das

folhas, resfriamento, alterar a composição lipídica da membrana, refletir a radiação solar, promover o sombreamento de tecidos mais sensíveis e até um enraizamento extensivo (LEHMAN; ENGELKE, 1993; WAHID, 2007). A longo prazo, alguns autores citam, como mecanismos utilizados pelas plantas, as adaptações fenológicas e morfológicas evolutivas, como expressão de proteínas de estresse e controle transcricional (HASANUZZAMAN et al., 2013; TAIZ et al., 2017).

2.3.1 Trocas gasosas

Para as plantas, a capacidade de sustentar as trocas gasosas foliares sob estresse térmico está diretamente relacionada com a tolerância ao calor. Dentre os mecanismos fisiológicos mais importantes, estes relacionados às trocas gasosas das plantas com o ambiente externo são os mais estudados e elucidados na literatura, como a fotossíntese, transpiração e a condutância estomática.

As alterações nos diversos atributos fotossintéticos gerais das plantas sob estresse por calor são bons indicadores da tolerância da planta a medida que também podem demonstrar correlação com as variáveis de crescimento vegetal, pois quaisquer limites na fotossíntese podem reduzir o crescimento sob elevadas temperaturas (WAHID et al., 2007; AIEN et al., 2011). A condutância estomática e a fotossíntese, a exemplo, podem ser inibidas em estresse térmico moderado em várias espécies vegetais devido a diminuições no estado de ativação da enzima rubisco (CRAFTS-BRANDER; SALVUCCI, 2002; MORALES et al., 2003; MAESTRI et al., 2002; HEMANTARANJAN et al., 2014).

A fotossíntese é considerada o processo fisiológico mais sensível a temperaturas altas, causando um desequilíbrio entre esse processo e a respiração (WAHID et al., 2007). Segundo diversos autores, um decréscimo nesse processo provoca uma baixa na produção de fotoassimilados, o que acarretará negativamente a produção e o desenvolvimento da planta (TAIZ et al., 2017) e sua resposta à temperatura diminui à medida que a temperatura se torna menor ou maior que a ideal (AVOLA et al., 2008) por meio da inativação de processos fotoquímicos, como já fora relatado em diversos trabalhos iniciais com a cultura da batata (BURTON, 1981; HAMMES; DE JAGGER, 1990; AIEN et al., 2011).

Na batata, Burton (1981) afirma que a temperatura ótima para a fotossíntese é de 20°C e que um incremento de 5°C na temperatura pode reduzir as taxas fotossintéticas em até 25%. Timlin et al. (2006) observaram valores máximos de fotossíntese para a cultura em temperaturas entre 20 e 24°C no período inicial de crescimento e que, posteriormente, foram alteradas para temperaturas mais baixas a medida que o ciclo da planta progrediu. Segundo

Taiz et al. (2017), o pico das taxas fotossintéticas em uma determinada faixa de temperatura é chamado de ideal térmico fotossintético.

Chaves et al. (2009) afirmam que, sob estresse leve inicial, um pequeno declínio na condutância estomática tem efeito protetor, permitindo à planta economizar água, mediante a melhoria da eficiência no uso da água.

Posteriormente, Feng et al. (2014) observaram reduções na fotossíntese seguidas de acréscimos na condutância estomática e transpiração, e concluíram que a inibição do estresse por calor reduzindo as taxas fotossintéticas não é somente resultado do fechamento dos estômatos, mas também de limitações não estomáticas e dependentes da cultivar. Esse comportamento da condutância estomática e a transpiração deve-se, segundo alguns autores, ao fato de que taxas elevadas de transpiração e condutância dos estômatos reduziram a temperatura foliar possibilitando à planta maior chance de escape contra o estresse por calor (AIEN et al., 2011; CRAWFORD et al., 2012). Hancock et al. (2014) e Demirel et al. (2017) também observaram aumentos na condutância dos estômatos em função do estresse térmico.

O estresse mais prolongado, em contrapartida, afeta geralmente a fotossíntese foliar e a condutância estomática, e com o fechamento estomático durante os estádios iniciais do estresse, a eficiência do uso da água pode aumentar, ou seja, mais CO₂ pode ser absorvido por unidade de água transpirada, pois o fechamento estomático inibe a transpiração mais do que diminui as concentrações intercelulares de CO₂ (TAIZ et al., 2017).

Uma consequência bem conhecida da temperatura elevada em plantas é o dano causado pelo desequilíbrio induzido pelo calor na fotossíntese e respiração; em geral, a taxa de fotossíntese diminui enquanto as taxas de respiração aumentam consideravelmente sob altas temperaturas (WAHID et al., 2007; TAIZ et al., 2017).

A eficiência do uso da água, por sua vez, refere-se à quantidade de carbono assimilada durante o processo fotossintético por unidade de água utilizada, ou seja, o quanto de matéria seca foi acumulado na planta dividido pela quantidade de água utilizada para sua produção. Representa um grupo de variáveis que cada vez mais destacam-se nas linhas de pesquisa atualmente. A eficiência do uso da água é estimada pela razão entre a taxa fotossintética e a taxa transpiratória da planta, sendo frequentemente utilizada em trabalhos. Avaliar a eficiência do uso dos recursos como a água torna-se muito importante, principalmente tendo em vista as previsões de mudanças climáticas que mostram aumentos claros nas temperaturas – e na evapotranspiração potencial – além de mais frequente cenários de crises climáticas, entre elas as ondas de calor (MEDRANO et al., 2015; TAIZ et al., 2017). A eficiência do uso da água pode ser tomada em diferentes níveis na planta, sendo o foliar o mais comum.

Além da água, outros elementos também estão diretamente relacionados à eficiência dos processos fisiológicos como as concentrações de CO₂. A eficiência de carboxilação, por exemplo, está relacionada a razão entre as taxas fotossintéticas e a concentração intercelular de carbono. Na literatura, assim como para a eficiência do uso da água, alguns trabalhos já associaram os efeitos negativos do estresse por calor na redução da eficiência de carboxilação das plantas, como em trigo (WANG et al., 2010), tabaco (TAN et al., 2011), arroz (FENG et al., 2007), entre outros. Em tomate, Ogwen et al. (2008) constataram que altas temperaturas na fase de crescimento da cultura resultaram em redução da eficiência de carboxilação, aumento da atividade das enzimas antioxidantes, maior peroxidação lipídica e culminando em uma regulação negativa da atividade do aparato fotossintético da planta.

2.4 Melhoramento visando tolerância ao calor em batata

O emprego do melhoramento convencional para obtenção de cultivares de batata tolerantes ao calor é utilizado há alguns anos para produção de clones com maior tolerância para cultivo em ambientes de clima mais quente (SUSNOSCHI et al., 1987; VEILLEUX et al., 1997; MINHAS et al., 2001) e nas últimas décadas o objetivo centrou-se principalmente em melhorar o rendimento final associado a custos de produção menores (DEMIREL et al., 2017), principalmente no que tange ao desenvolvimento de trabalhos voltados a obtenção de clones mais resistentes a pragas e patógenos, a exemplo de doenças bacterianas e viróticas, mais recentemente (CARVALHO, 2019; FERNANDES, 2018b).

Todavia, as condições em que são realizadas a seleção dos genótipos para o ambiente de interesse têm elevada relevância. Em função dos objetivos do programa, pode ser escolhido entre se realizar a seleção sob o estresse, em condições favoráveis ou na média dos dois ambientes, tendo em vista que o processo seletivo deve ser realizado em local mais semelhante ao ambiente em que se deseja produzir.

Atualmente, diversas instituições ao redor do mundo vêm trabalhando no desenvolvimento de batatas tolerantes ao calor. Algumas enfocam na identificação de marcadores genéticos para tolerância ao estresse como um futuro promissor para cultivares menos sensíveis (HANCOCK et al., 2014). Em países como a Escócia (Scottish Crop Research Institute) e Rússia (Russian Potato Breeding Program) a tolerância ao calor, à seca e estresses bióticos, são aspectos em desenvolvimento no melhoramento (RAYMUNDO et al., 2014). Na Índia, por sua vez, pesquisas proporcionaram a variedade Kufri Surya, que apresenta ciclo de maturação precoce e tolerância ao calor (MINHAS et al., 2006).

No Brasil, os trabalhos relacionados à tolerância ao calor em batata foram feitos pelo programa de melhoramento de batata da Universidade Federal de Lavras (PROBATATA – UFLA) por intermédio da introdução de clones do CIP (Centro Internacional de La Papa) chamados LT (Low Tropic) em 1994, e desde então iniciaram-se os trabalhos com tolerância ao calor (MENEZES et al., 1999). Os clones introduzidos do CIP foram cruzados com cultivares e clones brasileiros, tais como Aracy, Baronesa, Itararé, EPAMIG 76-0580 e EPAMIG 76-0526 e a cultivar de origem holandesa chamada Baraka (MENEZES; PINTO; LAMBERT, 2001). Estes resultados indicaram que o aumento da temperatura nas safras com estresse por calor reduziu o número e o peso de tubérculos e, conseqüentemente, a produtividade. Ainda, foi observado grande aumento na incidência de desordens fisiológicas e redução no teor de matéria seca dos tubérculos.

A partir deste trabalho, muitos clones foram selecionados e avaliados por diversos anos em várias safras, apresentando em geral superioridade nas condições térmicas adversas. Além destas pesquisas, outras subseqüentes realizaram ciclos de seleção recorrente para tolerância ao calor com o intuito de obter ganhos expressivos na produção e qualidade de tubérculos (BENITES; PINTO, 2011) possibilitando ser selecionados clones superiores utilizando este método (MENEZES; PINTO; LAMBERT, 2001; LAMBERT et al., 2006a; BENITES; PINTO, 2011). Muitos trabalhos identificaram clones com elevado potencial para serem utilizados como genitores em programas de melhoramento, pois frequentemente apresentavam desempenhos superiores às médias das testemunhas (cultivares lançadas no mercado) para as características avaliadas.

Entre os experimentos conduzidos, vários genótipos de alto desempenho destacaram-se e passaram a fazer parte do programa de melhoramento da espécie. Como exemplo os clones CBM que foram obtidos em 1996, advindos de cruzamentos entre genótipos brasileiros e outros tolerantes ao calor (MENEZES; PINTO; LAMBERT, 2001), constituindo alguns dos vários exemplos de clones de sucesso obtidos pelo PROBATATA da Universidade Federal de Lavras, pois apresentam alto teor de matéria seca, ótima tolerância ao calor e responsividade aos ambientes mais favoráveis.

Não apenas diversos clones foram testados ao longo dos anos como também várias metodologias, técnicas e escopos de pesquisa foram desenvolvidos, como a seleção recorrente, seleção entre e dentro de famílias, estudos de precocidade e produtividade, peso específico, ciclo vegetativo, período de tuberização, aparência de tubérculos, seleção de genitores, índices morfofisiológicos, estudos de estabilidade, entre outros, em condições favoráveis e desfavoráveis de cultivo que possibilitaram grande evolução para o programa de

melhoramento (FIGUEIREDO et al., 2015; FERNANDES, 2018a; GUEDES, 2018; LAMBERT et al., 2006a, 2006b; LYRA et al., 2015; MENEZES; PINTO; LAMBERT, 2001; RIBEIRO et al., 2014; TORRES, 2016).

Além disso, existem linhas de pesquisa voltadas para estratégias que visam à melhoria da eficiência da seleção, como por meio da viabilidade do emprego de índices de seleção (LAMBERT et al., 2006b). Alguns índices de seleção já foram encontrados na literatura para auxiliar na identificação de genótipos avaliados em condições favoráveis e desfavoráveis de cultivo (DEMIREL et al., 2017; GUEDES, 2018; KIRIGWI et al., 2004; PARENTONI et al., 2001). A importância deles reside quando são avaliados grande quantidade de genótipos, o que é normalmente comum em programas de melhoramento de plantas, prejudicando a visualização dos resultados de forma mais clara e concisa e, nesse sentido, a tendência é reunir as informações em índices específicos em concordância com os objetivos do pesquisador (LAMBERT et al., 2006b).

O melhoramento para tolerância a estresse abiótico deve ser realizado buscando-se ajustes nas práticas culturais (WAHID et al., 2007), já que o desempenho dos clones ou cultivares no campo é completamente dependente de diversas práticas de manejo e cultivo. Apesar disso é muito comum que a tolerância ao calor seja avaliada indiretamente por meio da produtividade. A seleção de clones baseada em vários caracteres é um mecanismo bem mais eficiente (HASANUZZAMAN et al., 2013), e deve ser realizada de modo a se adequar às condições de cultivo brasileiras, nas quais o clone deve possuir tolerância ao calor e ser responsivo à melhoria de temperatura. Por esse motivo, a seleção deve ocorrer em condições favoráveis e adversas, possibilitando a obtenção de genótipos com menor oscilação nas características de interesse para o melhorista (BENITES; PINTO, 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e condução dos experimentos

Foram conduzidos dois experimentos na fazenda experimental da UFLA - Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico na cidade de Lavras, localizada a 918,8 metros acima do nível do mar; a 21°14' de latitude Sul e 45°59' de longitude Oeste. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima de Lavras é Cwa: clima temperado úmido com inverno seco e verão quente (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007), sendo também caracterizado por temperatura anual média de 19,4 °C, precipitação total anual média de 1529,7 mm e umidade relativa do ar média anual de 76,2% (TEIXEIRA et al., 2015). O solo da área onde foi instalado o experimento é um Latossolo Roxo Distrófico.

Os tratos culturais em todos os experimentos foram realizados de acordo com as recomendações para a cultura, com a adubação de 1500 kg.ha⁻¹ de fertilizante formulado 08-28-16 (N, P₂O₅, K₂O) no plantio e adubação de cobertura realizada no momento da amontoa com 300 kg.ha⁻¹ 20-05-20. O preparo do solo foi realizado de maneira usual para a cultura, com uma aração, posterior gradagem e enxada rotativa. Foi realizada a irrigação suplementar semanalmente por aspersão de acordo com a necessidade e a incidência de chuvas. Em todos os experimentos foram monitoradas as temperaturas a cada hora, durante 100 dias do ciclo da cultura, utilizando o datalogger (OM-EL-USB-1-PRO-A), marca (OMEGA).

Os experimentos foram realizados utilizando o delineamento em blocos completos casualizados com três repetições, e cada parcela constituída por cinco plantas no espaçamento de 0,30m entre plantas e 0,80m entre linhas.

O desempenho agrônômico foi avaliado nos dois experimentos conduzidos em campo na safra com estresse de calor e na safra sem estresse. O ensaio da safra com estresse de calor foi realizado entre os dias 11/12/2017 (plantio) e 10/04/2018 (colheita), enquanto a segunda safra foi plantada no dia 13/06/2018 e colhida no dia 29/10/2018 (sem estresse de calor).

3.2 Clones experimentais

Foram avaliados 20 clones de batata provenientes do programa de seleção para tolerância ao calor da Universidade Federal de Lavras (UFLA) (TABELA 1). Estes clones foram previamente obtidos e selecionados em trabalhos de pesquisa visando tolerância ao calor e bom desempenho agrônômico (TORRES, 2016; LYRA et al., 2015). Cinco cultivares

foram usadas como testemunhas: Ágata, Asterix, Atlantic, Cupido e Markies. Os tubérculos de todos os genótipos apresentavam brotação adequada e uniforme no momento do plantio.

Tabela 1 – Genealogia dos clones tolerantes ao calor do programa de melhoramento de batata da UFLA. Lavras-MG, 2018.

Clone	Ano de Obtenção	Cruzamento
CBM 09-10	1996	LT9 x Baraka
CBM 16-15	1996	LT7 x Epamig 76-0526
CBM 16-16	1996	LT7 x Epamig 76-0526
CBM 24-06	1996	LT9 x DTO28
SR1 04-06	2002	CBM 04-16 x CBM 03-26
SR1 07-08	2002	CBM 16-16 x Atlantic
SR1 07-16	2002	CBM 16-16 x Atlantic
SR2 35-05	2004	SR1 07-01 x SR1 07-06
SR2 57-02	2004	SR1 04-19 x SR1 07-32
CTB 03-02	2006	Naturela x SR1 11-03
SR3 32-04	2010	CBM 22-19 x SR2 50-02
GMR 03-58	2010	SR2 21-02 x Voyager
GMR 17-40	2010	SR2 35-02 x Vivaldi
IRF 01-08	2010	SR1 07-04 x CBM 07-78
IRF 01-41	2010	SR1 07-04 x CBM 07-78
IRF 02-71	2010	SR2 50-02 x CBM 07-78
IRF 07-61	2010	SR1 07-04 x CBM 22-19
IRF 10-24	2010	SR2 50-02 x CBM 22-19
IRF 10-44	2010	SR2 50-02 x CBM 22-19
IRF 14-31	2010	SR2 50-02 x SR2 35-05

Fonte: Do autor (2019).

3.3 Avaliação agronômica

Após a colheita os clones foram submetidos às seguintes avaliações agronômicas de desempenho:

a) Número de tubérculos graúdos: número de tubérculos com diâmetro transversal acima de 45 mm, dividido pelo número de plantas da parcela;

b) Peso médio de tubérculos graúdos: produtividade de tubérculos graúdos dividido pelo número de tubérculos graúdos;

c) Desordens fisiológicas: número de tubérculos graúdos embonecados e/ou rachados dividido pelo número total de tubérculos graúdos da parcela e expressos em porcentagem;

d) Produtividade total: produção total dividida pelo número de plantas da parcela ($\text{g} \times \text{planta}^{-1}$);

e) Produtividade de tubérculos graúdos: produção de tubérculos com diâmetro transversal acima de 45 mm, dividido pelo número de plantas da parcela ($g \times planta^{-1}$);

f) Peso específico de tubérculos (PET): determinado pela expressão $PET = \text{Peso no ar} / (\text{Peso no ar} - \text{Peso na água})$, obtidos em balança hidrostática – foi realizada a conversão de PET para matéria seca segundo a expressão: $-217,2 + (221,2 \times PET)$ (SCHIPPERS, 1976).

3.4 Índices

Foram aplicados os seguintes índices, a partir do agrupamento das médias de rendimento dos clones nos experimentos avaliados nas condições de estresse e sem estresse por calor (LAMBERT et al., 2006b; DEMIREL et al., 2017). Os índices foram calculados para os caracteres de produtividade total de tubérculos, produtividade de tubérculos graúdos e teor de matéria seca dos tubérculos.

3.4.1 Índice de Seleção (ISe)

Foi calculado para cada genótipo por meio dos valores de rendimento de tubérculos, conforme indicado (LAMBERT et al., 2006b):

$$ISe = (Y_s \times Y_f) / (\bar{Y}_s \times \bar{Y}_f)$$

em que:

Y_s é o rendimento do genótipo sob condições de estresse;

Y_f é o rendimento do genótipo sob condições sem estresse;

\bar{Y}_s é o rendimento médio geral dos genótipos sob condições de estresse;

\bar{Y}_f é o rendimento médio geral dos genótipos sob condições sem estresse.

3.4.2 Índice de Suscetibilidade (ISu)

Foi calculado para identificação dos materiais mais ou menos sensíveis ao estresse de calor, conforme indicado (FISCHER; MAURER, 1978):

$$ISu = [1 - (Y_s / Y_f)] / [1 - (\bar{Y}_s / \bar{Y}_f)]$$

em que:

Y_s , Y_f , \bar{Y}_s e \bar{Y}_f foram definidos anteriormente.

3.4.3 Índice de Tolerância (IT)

Também foi calculado para cada genótipo usando os valores de rendimento de tubérculos, conforme indicado (FERNANDEZ, 1992; DEMIREL et al., 2017):

$$IT = (Y_s \times Y_f) / (\bar{Y}_f)^2$$

em que:

Y_s , Y_f e \bar{Y}_f foram definidos anteriormente.

3.5 Análise gráfica

Adicionalmente, as médias foram representadas graficamente para observação do desempenho dos genótipos em cada ambiente quanto as produtividades total e de grãos, além do teor de matéria seca. Para tal, foi construído um gráfico, no qual o eixo x é considerado o ambiente favorável (safra sem estresse) e o eixo y o ambiente desfavorável (safra com estresse). Duas retas foram traçadas na média geral de todos os genótipos, em cada safra, e que os distribuíram em quatro quadrantes: aqueles tolerantes ou sensíveis ao calor (acima ou abaixo da média do eixo y), e aqueles responsivos ou não a temperaturas amenas (acima ou abaixo da média do eixo x).

Desse modo, a caracterização dos clones quanto a tolerância ao calor foi avaliada pelo desempenho dos genótipos nos ambientes contrastantes em relação à média geral. Com isso, os genótipos foram classificados de acordo com o seu rendimento, sendo: tolerantes e responsivos (superiores à média em ambas as condições ambientais), tolerantes e não responsivos (apenas superiores à média no ambiente com estresse por calor), responsivos e não tolerantes (apenas superiores à média no ambiente sem estresse por calor) e não responsivos e não tolerantes (inferiores à média em ambas as condições ambientais).

3.6 Trocas gasosas

Durante o ciclo da cultura foram avaliadas a temperatura do dossel da planta (T_d) e as seguintes variáveis de trocas gasosas: a taxa fotossintética (A), condutância dos estômatos ao vapor d'água (G_s), taxa de transpiração (E), eficiência do uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso da água (A/G_s) e eficiência de carboxilação (A/C_i , em que C_i representa a concentração intercelular de CO_2). As características foram avaliadas em quatro períodos do ciclo em intervalos de 15 dias, com início aos 40 dias após o plantio (DAP) e posteriormente aos 55, 70 e 85 DAP. Empregou-se um analisador de gases a infravermelho (IRGA, LI 6400, LI-COR, USA) sob uso de fonte de radiação fotossinteticamente ativa embutida de $1000 \mu\text{mol}$

$m^{-2} s^{-1}$, como observado em alguns trabalhos científicos para a cultura da batata (AIEN et al., 2011; HANCOCK et al., 2014; DEMIREL et al., 2017).

A leitura foi realizada em uma planta representativa de cada parcela, observando o vigor e aparência da unidade experimental como um todo, para então ser realizada a média das três repetições experimentais presentes em cada bloco, obtendo assim os valores médios por clone. As variáveis supracitadas foram avaliadas entre 07:30h e 09:30h nos dias estipulados, em folhas maduras e completamente expandidas do terço médio-superior da planta (KU; EDWARDS; TANNER, 1977; DEMIREL et al., 2017), sendo estas, portanto, folhas fisiologicamente maduras as quais funcionam como fonte para a planta.

3.7 Análises estatísticas

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância (ANAVA) utilizando o software R (R CORE TEAM, 2017) com base no seguinte modelo estatístico para as análises individuais no delineamento em blocos completo casualizados (DBCC):

$$Y_{ij} = \mu + c_i + b_j + e_{ij}$$

em que:

Y_{ij} : valor observado na parcela que recebeu o i -ésimo clone no j -ésimo bloco j ;

μ : efeito fixo da média geral do experimento;

c_i : efeito fixo do i -ésimo clone;

b_j : efeito aleatório do j -ésimo bloco;

e_{ij} : efeito aleatório do erro experimental do i -ésimo clone dentro do j -ésimo bloco, assumindo-se que os erros são independentes e normalmente distribuídos com média zero e variância σ_e^2 .

A análise de variância (ANAVA) conjunta foi realizada de acordo com o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + c_i + a_k + b_{j(k)} + ca_{ik} + e_{ijk}$$

Y_{ijk} : resposta média do tratamento i no bloco j no ambiente k ;

μ : efeito fixo da média geral do experimento;

c_i : efeito fixo do i -ésimo clone;

a_k : efeito fixo do k -ésima safra;

$b_{j(k)}$: efeito aleatório do bloco j na safra k ;

ca_{ik} : efeito fixo da interação do clone i com a safra k ;

e_{ijk} : erro experimental, assumindo-se que os erros são independentes e normalmente distribuídos com média zero e variância σ_e^2 .

Para as características em determinadas safras que não apresentaram normalidade dos erros foram realizadas transformações para atender-se os pressupostos para análise. Em sequência, as análises de variância foram realizadas com nível de significância de 5%, utilizando o programa R. Foram calculadas as médias dos genótipos por meio do teste de agrupamento de médias de Scott Knott, a 5% de probabilidade.

O coeficiente de variação ambiental foi estimado a partir da expressão:

$$CV_e(\%) = \frac{\sqrt{\sigma_e^2}}{\mu} \cdot 100$$

em que:

$CV_e(\%)$ é o coeficiente de variação ambiental;

σ_e^2 é o componente da variância residual;

μ é a média geral do experimento.

Foi calculado ainda a acurácia seletiva (RESENDE; DUARTE, 2007) estimada pela seguinte expressão:

$$r_{gg} = \sqrt{1 - \frac{1}{F}}$$

em que:

F é o valor do teste F de Snedecor para o efeito de clone obtido pela ANAVA.

Para as trocas gasosas foram realizadas análises de variância para cada tempo de avaliação, em seguida, obtidas as médias ajustadas e posteriormente realizada a análise de regressão polinomial de segundo grau utilizando o programa Statistica 13 (Statsoft, Tulsa, OK, EUA). As regressões foram realizadas utilizando a média geral de cada tempo de avaliação para as duas safras mostradas em gráfico, bem como individualmente para uma amostra de clones que foram selecionados em dois grupos, sendo: tolerantes e responsivos, e os não tolerantes e não responsivos, pelo método gráfico explicado anteriormente.

Por fim, foram realizadas análises de correlações fenotípicas de Pearson entre os caracteres agrônômicos e as trocas gasosas utilizando o software R.

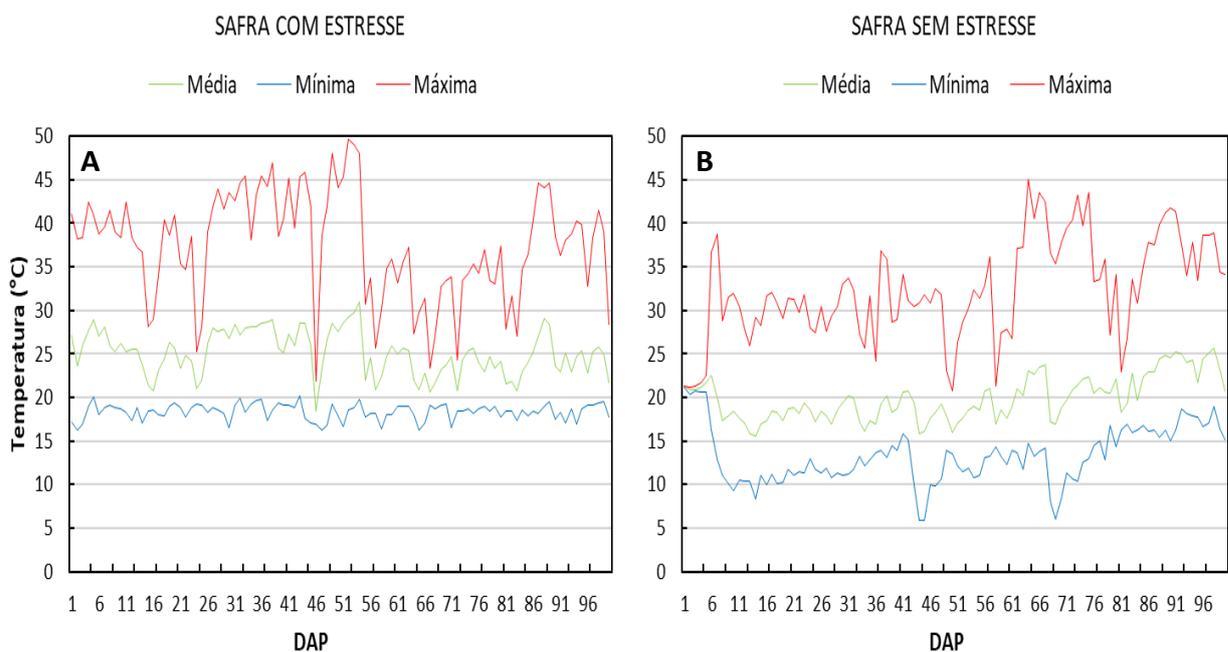
4 RESULTADOS

4.1 Variação da temperatura do ar

Na safra com estresse as temperaturas foram bem mais elevadas (FIGURA 1A). A temperatura média ao longo da safra foi de 25,1 °C, com valores mínimos médios de 18,4 °C e máximos médios de 37,5 °C. De modo geral as temperaturas médias diárias foram na sua quase totalidade superiores a 20 °C. Durante todo o ciclo vegetativo, 55% das médias diárias foram entre 20 e 25 °C, enquanto que 42% dos dias as temperaturas oscilaram entre 25 e 30 °C. Em apenas um dia o valor médio registrado foi inferior a 20 °C.

Por outro lado, na safra sem estresse foram observadas temperaturas mais amenas, com média geral em torno dos 19,9 °C (FIGURA 1B). A média das temperaturas mínimas ficou 13,3 °C e as temperaturas médias menores que 20 °C representaram 60% dos registros durante todo o ciclo. A média das temperaturas máximas ficou em torno de 32,4 °C, sendo estas características dos períodos diurnos. Apesar disso, ainda 40% das médias diárias restantes não ultrapassaram a marca de 25 °C.

Figura 1 – Variações das temperaturas médias, mínimas e máximas registradas nos dois experimentos de campo realizados na safra com estresse e sem estresse de calor. Lavras, MG. DAP – Dias após o plantio).



Fonte: Do autor (2019).

4.2 Caracteres agronômicos

4.2.1 Número de tubérculos graúdos, peso médio de graúdos e desordens fisiológicas

Na Tabela 2 encontram-se sumarizadas as análises de variância individuais para número de tubérculos graúdos (NG) e peso médio de graúdos (PMG). Os tratamentos apresentaram efeitos significativos quanto ao número de tubérculos graúdos em ambas as safras. Para o peso médio dos tubérculos graúdos, o efeito só foi significativo na safra sem estresse. Quanto aos desdobramentos, observa-se diferenças marcantes na avaliação entre clones para o NG nas duas safras e PMG apenas no ambiente sem estresse. Entre testemunhas não foi observado a mesma situação. Os maiores coeficientes de variação (CV) e as menores acurácias foram observados na safra com estresse, o que indica que as temperaturas mais altas diminuíram a precisão experimental.

Para a análise conjunta das safras (TABELA 3) foram observadas diferenças significativas tanto para os tratamentos quanto para as safras em ambas as características. Na decomposição dos graus de liberdade para tratamentos entre clones e no contraste dos clones e testemunhas também foi observado resultado semelhante. A interação tratamentos x safras, porém, foi significativa apenas quanto ao número de tubérculos graúdos. As acurácias ficaram em torno de 91 e 79% para o número de graúdos e peso médio, respectivamente.

Tabela 2 – Resumo das análises de variância individuais para número de tubérculos graúdos (NG) e peso médio de graúdos (PMG) (g) dos genótipos de batata na safra com estresse e sem estresse de calor. Lavras, MG.

Fonte de Variação	SAFRA COM ESTRESSE			SAFRA SEM ESTRESSE		
	QM			QM		
	GL	NG	PMG	GL	NG	PMG
Bloco	2	1,63*	0,01	2	8,86**	0,06
Tratamentos	(23)	1,14**	0,05	(24)	7,41**	0,09**
Entre clones	18	1,31**	0,03	19	7,52**	0,09**
Entre testemunhas	4	0,55	0,09	4	0,73	0,07
Clones vs Testemunhas	1	0,17	0,18*	1	32,71**	0,07
Erro	33	0,36	0,04	47	1,32	0,03
Acurácia (%)		82,89	48,04		90,62	78,06
CV (%)		68,24	4,02		33,12	3,76

** e *: Significativo a 1 e 5% pelo teste F, respectivamente.

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 3 – Resumo da análise de variância conjunta para número de tubérculos graúdos (NG) e peso médio de graúdos (PMG) (g) dos genótipos de batata na safra com estresse e sem estresse de calor. Lavras, MG.

Fonte de Variação	Quadrado Médio			
	GL	NG	GL	PMG
Tratamentos	(24)	5,16**	(23)	0,09**
Entre clones	19	5,43**	18	0,08**
Entre testemunhas	4	0,35	4	0,09
Clones vs Testemunhas	1	18,83**	1	0,24*
Safras	1	251,86**	1	0,73**
Blocos (Safras)	4	5,42**	4	0,03
Tratamentos x Safras	(24)	3,35**	(23)	0,04
Entre clones x Safras	19	3,34**	18	0,04
Entre testemunhas x Safras	4	0,93	4	0,06
Clones vs Testemunhas x Safras	1	14,13**	1	0,02
Erro	80	0,84	79	0,03
Acurácia (%)		91,56		78,73
CV (%)		42,20		3,87

** e *: Significativo a 1 e 5% pelo teste F, respectivamente.

Fonte: Do autor (2019).

Na Tabela 4 estão apresentadas as médias dos genótipos para os caracteres número de tubérculos graúdos por planta e peso médio de graúdos, além dos percentuais de desordens fisiológicas observadas, como rachaduras e embonecamentos, nas duas safras avaliadas.

Nota-se grande efeito do aumento da temperatura entre a safra sem estresse e a safra com estresse, o que provocou redução significativa no número de tubérculos e aumento das desordens fisiológicas. No ambiente com estresse, o número de tubérculos produzido foi de 0,87, em média, valor esse que representa uma redução de 74,7% no valor final se comparado à safra sem estresse de calor, com 3,44 tubérculos graúdos produzidos por planta.

Na safra com estresse de calor, apesar da baixa média do número de tubérculos graúdos produzidos (0,87), alguns clones destacaram-se, entre os quais o CBM 09-10 (2,13), CBM 16-15 (1,98), IRF 10-44 (1,92), GMR 17-40 (1,80), IRF 02-71 (1,60) e IRF 07-61 (1,27), sendo considerados os mais tolerantes para este caráter. Entre os menos tolerantes estão a testemunha Ágata e os clones SR2 57-02 e SR1 07-08. No ambiente sem estresse, os clones mais responsivos produziram de 4,53 (IRF 10-44) até 6,60 tubérculos (IRF 10-24).

Quanto ao peso médio de graúdos, as médias gerais entre as safras mostraram redução de aproximadamente 15% devido ao calor da safra com estresse. Esta safra apresentou valores em torno de 114,2 g por tubérculo graúdo, enquanto que o ambiente sem estresse demonstrou média de 133,7 g.

Contrariamente, a safra com estresse apresentou percentual de desordens fisiológicas em torno de 20%, valor médio quase dez vezes superior ao ambiente sem estresse (2,1%). Em outras palavras, para cada 1 °C a mais na safra de estresse os tubérculos apresentaram 3,48% mais desordens fisiológicas entre as safras, tendo em vista a disparidade nas temperaturas médias de 19,9 °C e 25,1 °C entre as safras com condições favoráveis e condições desfavoráveis de cultivo, respectivamente.

Tabela 4 – Médias dos tratamentos para número de tubérculos graúdos (NG), peso médio de graúdos (PMG) (g) e desordens fisiológicas (Desordens) (%) dos genótipos de batata na safra com estresse e sem estresse de calor. Lavras, MG.

CLONE	SAFRA COM ESTRESSE			SAFRA SEM ESTRESSE						
	NG	PMG	Desordens	NG	PMG	Desordens				
AGATA	0,08	b	100,0	a	0,0	2,35	b	116,0	b	0,0
ASTERIX	1,02	b	123,3	a	75,0	1,83	b	173,6	a	0,0
ATLANTIC	0,67	b	96,5	a	21,5	2,82	b	139,3	a	0,0
CUPIDO	1,15	b	154,4	a	22,2	2,22	b	156,9	a	4,8
MARKIES	0,98	b	145,0	a	50,0	1,53	b	133,8	a	0,0
CBM 09-10	2,13	a	120,2	a	11,4	3,53	b	160,0	a	4,2
CBM 16-15	1,98	a	127,4	a	22,0	5,07	a	156,2	a	0,0
CBM 16-16	0,87	b	106,3	a	16,3	5,47	a	131,0	a	0,0
CBM 24-06	0,53	b	116,7	a	16,7	3,38	b	181,8	a	1,9
CTB 03-02	0,52	b	166,7	a	58,4	2,44	b	135,3	a	14,3
GMR 03-58	0,25	b	100,0	a	0,0	2,67	b	129,1	a	0,0
GMR 17-40	1,80	a	113,4	a	4,8	2,20	b	142,9	a	0,0
IRF 01-08	0,53	b	100,0	a	0,0	0,88	b	91,7	b	0,0
IRF 01-41	0,64	b	105,0	a	0,0	3,03	b	106,1	b	0,0
IRF 02-71	1,60	a	101,8	a	18,1	5,50	a	155,2	a	2,9
IRF 07-61	1,27	a	104,2	a	23,6	5,80	a	127,4	a	0,0
IRF 10-24	0,70	b	100,0	a	33,3	6,60	a	147,3	a	2,8
IRF 10-44	1,92	a	105,0	a	16,7	4,53	a	151,5	a	0,0
IRF 14-31	0,53	b	116,7	a	16,7	1,53	b	117,1	b	16,7
SR1 04-06	1,08	b	97,6	a	8,3	5,33	a	109,2	b	0,0
SR1 07-08	0,0	b	-		-	2,56	b	102,0	b	0,0
SR1 07-16	0,73	b	116,7	a	11,1	4,97	a	132,9	a	2,1
SR2 35-05	0,40	b	108,3	a	8,3	4,80	a	128,6	a	0,0
SR2 57-02	0,07	b	100,0	a	0,0	2,50	b	116,0	b	3,3
SR3 32-04	0,40	b	115,0	a	50,0	2,45	b	101,2	b	0,0
Médias	0,87		114,2		20,2	3,44		133,7		2,1

*Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott, a 5 % de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

4.2.2 Produtividade de tubérculos e teor de matéria seca

Os resultados das análises de variância individuais para cada safra são apresentados na Tabela 5. Em ambas as safras foram observadas diferenças significativas para os tratamentos em todos os caracteres. Este efeito foi mais pronunciado entre os clones do que entre testemunhas. De modo geral, a safra sem estresse apresentou maiores acurácias principalmente quanto à produtividade de grãos e conteúdo de matéria seca dos tubérculos, evidenciando maior precisão experimental. Os coeficientes de variação (CV) foram elevados principalmente para produção de grãos, enquanto que bem baixos para o teor de matéria seca.

A análise conjunta para as variáveis supracitadas revelou diferenças significativas entre os tratamentos e também para o desdobramento entre clones para todos os caracteres e entre testemunhas para produção de grãos e matéria seca (TABELA 6). O efeito das duas safras distintas também foi significativo para todas as características. Quanto à interação entre tratamentos por safras foram observados efeitos significativos para a produção de tubérculos total e de grãos, o que evidencia o comportamento diferencial dos genótipos nos ambientes (TABELA 6). Especificamente, os efeitos da interação das safras também foram significativos quando comparados entre clones para produtividade total e teor de matéria seca, e apenas para produtividade de grãos quando comparado as safras entre testemunhas. Novamente, elevadas acurácias e CVs foram observados para os dois primeiros caracteres.

Tabela 5 – Resumo das análises de variância individuais para produtividade total de tubérculos (Prod. Total) (g x planta⁻¹), produtividade de tubérculos grãos (Prod. Grãos) (g x planta⁻¹) e teor de matéria seca de tubérculos (Mat. Seca) (%) dos genótipos de batata na safra com estresse e sem estresse de calor. Lavras, MG.

Fonte de Variação	SAFRA COM ESTRESSE				SAFRA SEM ESTRESSE			
	QM				QM			
	GL	Prod. Total	Prod. Grãos	Mat. Seca	GL	Prod. Total	Prod. Grãos	Mat. Seca
Bloco	2	27371**	17467*	1,46	2	285733**	265939**	6,74**
Tratamentos	(24)	29308**	13145**	6,92**	(24)	204403**	169601**	6,70**
Entre clones	19	33973**	14058**	6,96**	19	223435**	183962**	4,34**
Entre testemunhas	4	14138	11587*	5,46	4	16688	17805	16,83**
Clones vs Testemunhas	1	1081	1423	12,05	1	612050*	512336**	11,00
Erro	46	5286,8	3952,8	2,33	46	41603	30809	1,098
Acurácia (%)		90,53	83,65	81,44		89,24	90,47	91,44
CV (%)		29,25	64,32	9,35		31,83	36,99	5,35

** e *: Significativo a 1 e 5% pelo teste F, respectivamente.

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 6 – Resumo da análise de variância conjunta para produtividade total de tubérculos (Prod. Total) ($\text{g} \times \text{planta}^{-1}$), produtividade de tubérculos graúdos (Prod. Graúdos) ($\text{g} \times \text{planta}^{-1}$) e teor de matéria seca dos tubérculos (Mat. Seca) dos genótipos de batata na com estresse e sem estresse de calor. Lavras, MG.

Fonte de Variação	Quadrado Médio			
	GL	Prod. Total	Prod. Graúdos	Mat. Seca
Tratamentos	(24)	144259**	13,8**	10,8**
Entre clones	19	159784**	14,5**	8,0**
Entre testemunhas	4	21234	13,79**	21,25**
Clones vs Testemunhas	1	334846*	0,9	22,1*
Safras	1	5695506**	398,0**	391,5**
Blocos (Safras)	4	161332**	4,2	4,2*
Tratamentos x Safras	(24)	88656**	10,4**	2,8
Entre clones x Safras	19	96432**	9,8	3,3*
Entre testemunhas x Safras	4	9838	13,97**	1,18
Clones vs Testemunhas x Safras	1	272660*	8,7	0,1
Erro	93	23445	5,1	1,7
Acurácia (%)		91,51	79,52	91,78
CV (%)		34,43	52,14	7,27

** e *: Significativo a 1 e 5% pelo teste F, respectivamente.

Fonte: Do autor (2019).

Na Tabela 7 encontra-se o desempenho médio dos genótipos para produtividade total, produtividade de tubérculos graúdos e conteúdo de matéria seca dos tubérculos nas duas safras. Novamente ficou evidenciado os efeitos negativos do aumento da temperatura na diminuição da produtividade de tubérculos, total e de graúdos, bem como o teor de matéria seca. Na safra com estresse, a redução da produtividade total de tubérculos foi de 60,9%, e de 78,2% para a produtividade de tubérculos graúdos em relação à safra sem estresse. Nesta última, a produtividade alcançou média de 635,4 g e 469,2 g por planta para a produção total e de graúdos, respectivamente. O teor de matéria seca na safra com estresse sofreu redução de 16,8% em relação ao ambiente favorável de cultivo.

Na safra com estresse, os destaques em produtividade total foram os clones CBM 16-15 (451,7 g), IRF 10-44 (453,3 g), CBM 09-10 (446,7 g) e GMR 17-40 (380 g). Os piores em desempenho foram novamente a testemunha Ágata e os clones SR1 07-16 e SR2 57-02. Quanto à produtividade de graúdos os mesmos clones também foram superiores nesta safra, acrescidos de outros cinco genótipos (Asterix, Cupido, Markies, IRF 02-71 e IRF 07-61), todos com performance maior que a média da safra. Na safra sem estresse, os oito clones mais responsivos facilmente ultrapassaram a média geral com produtividades totais de 703,3 até 1251,7 g por planta e de 513,3 a 1017,5 g considerando apenas os graúdos.

O teor de matéria seca, por sua vez, foi maior para outro conjunto de clones com ênfase para os genótipos Atlantic (18,2%), CBM 09-10 (16,9%), CBM 16-16 (18,4%), CTB 03-02 (19,7%), IRF 07-61 (17,5%), SR1 04-06 (17,7%), SR1 07-08 (18,1%), SR1 07-16 (17,5%) e SR2 57-02 (19%) na safra com estresse e Atlantic (22,1%), CBM 16-15 (22%), SR1 04-06 (21,4%) e SR2 57-02 (22,4%) na safra sem estresse.

Tabela 7 – Médias dos tratamentos para produtividade total de tubérculos (Prod. Total) (g x planta⁻¹), produtividade de tubérculos graúdos (Prod. Graúdos) (g x planta⁻¹) e teor de matéria seca de tubérculos (Mat. Seca) dos genótipos de batata na safra com estresse e sem estresse de calor. Lavras, MG.

CLONE	SAFRA COM ESTRESSE						SAFRA SEM ESTRESSE					
	Prod. Total		Prod. Graúdos		Mat. Seca		Prod. Total		Prod. Graúdos		Mat. Seca	
AGATA	127,5	c	8,3	b	13,8	b	408,3	b	274,2	b	16,2	d
ASTERIX	308,9	b	123,3	a	15,7	b	496,7	b	321,7	b	19,8	b
ATLANTIC	243,8	b	93,8	b	18,2	a	504,4	b	416,7	b	22,1	a
CUPIDO	265,8	b	174,2	a	14,7	b	534,7	b	326,4	b	16,9	d
MARKIES	267,5	b	136,7	a	15,4	b	356,7	b	206,7	c	19,1	c
CBM 09-10	446,7	a	273,0	a	16,9	a	703,3	a	513,3	a	20,1	b
CBM 16-15	451,7	a	242,5	a	16,5	b	910,0	a	783,3	a	22,0	a
CBM 16-16	276,7	b	93,3	b	18,4	a	900,0	a	716,7	a	20,9	b
CBM 24-06	170,0	c	60,0	b	14,7	b	721,1	a	613,3	a	18,4	c
CTB 03-02	135,8	c	86,7	b	19,7	a	469,5	b	327,8	b	19,2	c
GMR 03-58	204,2	c	25,0	b	16,2	b	486,7	b	343,3	b	19,7	b
GMR 17-40	380,0	a	203,3	a	14,2	b	541,7	b	312,5	b	19,8	b
IRF 01-08	168,3	c	53,3	b	15,9	b	227,1	b	79,2	d	20,3	b
IRF 01-41	263,9	b	69,5	b	15,2	b	444,2	b	318,3	b	19,5	b
IRF 02-71	291,7	b	157,5	a	15,6	b	1039,2	a	867,5	a	18,2	c
IRF 07-61	273,3	b	133,3	a	17,5	a	884,4	a	731,1	a	18,8	c
IRF 10-24	242,5	b	70,0	b	15,5	b	1251,7	a	1017,5	a	19,2	c
IRF 10-44	453,3	a	201,7	a	16,0	b	860,0	a	686,7	a	18,8	c
IRF 14-31	175,6	c	66,7	b	14,8	b	396,7	b	200,0	c	17,9	c
SR1 04-06	195,8	c	104,2	b	17,7	a	720,0	a	583,3	a	21,4	a
SR1 07-08	133,3	c	0,0	b	18,1	a	322,2	b	288,9	b	19,0	c
SR1 07-16	195,6	c	90,0	b	17,5	a	1001,7	a	643,3	a	20,4	b
SR2 35-05	190,0	c	46,7	b	14,8	b	853,3	a	623,3	a	19,8	b
SR2 57-02	119,2	c	6,7	b	19,0	a	420,0	b	290,8	b	22,4	a
SR3 32-04	231,1	b	36,7	b	15,9	b	430,8	b	245,0	b	20,3	b
Média Geral	248,5		102,3		16,3		635,4		469,2		19,6	

*Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott-Knott, a 5 % de probabilidade.

Fonte: Do autor (2019).

4.2.3 Índices

Na Tabela 8 encontram-se os índices utilizados para auxiliar na identificação de genótipos tolerantes ou sensíveis ao calor. Considerando o índice de seleção (LAMBERT et al., 2006b) para produtividade total de tubérculos, os melhores genótipos foram os clones CBM 09-10, CBM 16-15, IRF 02-71, IRF 10-44 e IRF 10-24 para os quais foram observados valores maiores que um desvio padrão acima da média geral. Destes clones, os quatro primeiros foram classificados no quadrante I da análise gráfica (FIGURA 2). Para produtividade de grãos os mesmos clones destacaram-se, à exceção do IRF 10-24, mas que ainda apresentou valor superior à média geral. Quanto à matéria seca dos tubérculos, os clones com destaque um desvio acima da média foram o CBM 16-16, CTB 03-02, SR1 04-06 e SR2 57-02, além da testemunha Atlantic.

Este índice destaca os genótipos com alta produção tanto no ambiente com estresse de calor como no ambiente sem estresse. Além disso, foram observadas correlações significativas e de alta magnitude entre o índice e a produtividade total de tubérculos no ambiente com estresse (0,84), sem estresse (0,80) e na média de ambos (0,93), resultados esses também observados para as demais características avaliadas (TABELA 9).

Para o índice de suscetibilidade, os menores valores indicam tolerância enquanto que os maiores indicam a sensibilidade dos genótipos ao estresse de calor (TABELA 8). Entre os materiais genéticos caracterizados como menos sensíveis estão Markies, GMR 17-40, CBM 09-10, Asterix e IRF 01-08 para produtividade total. Ainda, para este índice, é destaque as correlações negativas e significativas com as médias dos ambientes com estresse por calor para todos os caracteres, porém baixa com as médias geral dos ambientes, sendo este um dos problemas associados ao índice proposto (TABELA 9).

O índice de tolerância apresentou correlações com os caracteres avaliados na sua quase totalidade idênticos aos observados para o índice de seleção (TABELA 9). Ambos os índices identificam os melhores indivíduos como sendo os de maior valor, entretanto o índice de tolerância apresenta resultados menores no geral, por considerar o quadrado da média do ambiente favorável. Considerando tal índice para a produtividade de tubérculos grãos, os genótipos mais tolerantes foram CBM 16-15, CBM 09-10, IRF 10-44 e IRF 02-71, apresentando coincidência com os clones identificados pelo índice de seleção, como esperado, e também com os selecionados pelo próprio índice de tolerância para produtividade total, com acréscimo do IRF 10-24. Entre os clones menos tolerantes encontram-se, novamente, a testemunha Ágata e os clones SR2 57-02 e SR1 07-08 (TABELA 8). Para matéria seca,

similarmente ao observado para o índice de seleção, os resultados quanto aos genótipos de melhor desempenho foram diferentes do observado para as características de produtividade.

Tabela 8 – Índices utilizados para identificar genótipos de batata baseados na avaliação sob condições de estresse de calor e condições sem estresse para produtividade total de tubérculos (Prod. Total), produtividade de tubérculos graúdos (Prod. Graúdos) e teor de matéria seca de tubérculos (Mat. Seca). Lavras, MG.

CLONE	Índice de Seleção (ISe)			Índice de Suscetibilidade (ISu)			Índice de Tolerância (IT)		
	Prod. Total	Prod. Graúdos	Mat. Seca	Prod. Total	Prod. Graúdos	Mat. Seca	Prod. Total	Prod. Graúdos	Mat. Seca
AGATA	0,33	0,05	0,70	1,13	1,24	0,88	0,13	0,01	0,58
ASTERIX	0,97	0,83	0,97	0,62	0,79	1,25	0,38	0,18	0,81
ATLANTIC	0,78	0,81	1,26	0,85	0,99	1,04	0,30	0,18	1,05
CUPIDO	0,90	1,18	0,78	0,83	0,60	0,76	0,35	0,26	0,65
MARKIES	0,60	0,59	0,92	0,41	0,43	1,17	0,24	0,13	0,76
CBM 09-10	1,99	2,92	1,06	0,60	0,60	0,95	0,78	0,64	0,88
CBM 16-15	2,60	3,96	1,13	0,83	0,88	1,49	1,02	0,86	0,94
CBM 16-16	1,58	1,39	1,20	1,14	1,11	0,72	0,62	0,30	1,00
CBM 24-06	0,78	0,77	0,85	1,26	1,15	1,19	0,30	0,17	0,70
CTB 03-02	0,40	0,59	1,18	1,17	0,94	-0,15	0,16	0,13	0,98
GMR 03-58	0,63	0,18	1,00	0,95	1,19	1,05	0,25	0,04	0,83
GMR 17-40	1,30	1,32	0,88	0,49	0,45	1,69	0,51	0,29	0,73
IRF 01-08	0,24	0,09	1,00	0,42	0,42	1,30	0,09	0,02	0,84
IRF 01-41	0,74	0,46	0,93	0,67	1,00	1,32	0,29	0,10	0,77
IRF 02-71	1,92	2,85	0,89	1,18	1,05	0,85	0,75	0,62	0,74
IRF 07-61	1,53	2,03	1,03	1,13	1,05	0,42	0,60	0,44	0,86
IRF 10-24	1,92	1,48	0,93	1,32	1,19	1,13	0,75	0,32	0,77
IRF 10-44	2,47	2,89	0,94	0,78	0,90	0,89	0,97	0,63	0,79
IRF 14-31	0,44	0,28	0,83	0,92	0,85	1,01	0,17	0,06	0,69
SR1 04-06	0,89	1,27	1,18	1,20	1,05	1,02	0,35	0,28	0,98
SR1 07-08	0,27	0,00	1,07	0,96	1,28	0,31	0,11	0,00	0,90
SR1 07-16	1,24	1,21	1,12	1,32	1,10	0,84	0,49	0,26	0,93
SR2 35-05	1,03	0,61	0,92	1,28	1,18	1,49	0,40	0,13	0,76
SR2 57-02	0,32	0,04	1,32	1,18	1,25	0,91	0,12	0,01	1,10
SR3 32-04	0,63	0,19	1,01	0,76	1,09	1,28	0,25	0,04	0,84
Médias	1,06	1,12	1,00	0,94	0,95	0,99	0,41	0,24	0,84
Des. Pad. *	0,69	1,06	0,15	0,29	0,27	0,39	0,27	0,23	0,13

* Desvio Padrão das médias.

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 9 – Coeficientes de correlação entre os índices de Seleção (ISe), de Suscetibilidade (ISu) e de Tolerância (IT), e a média de produtividade (total e de grãos) e teor de matéria seca de cada clone nos ambientes com e sem estresse de calor. Lavras, MG.

Índice	Produtividade Total			Produtividade de Grãos			Matéria Seca		
	Média com estresse	Média sem estresse	Média geral	Média com estresse	Média sem estresse	Média geral	Média com estresse	Média sem estresse	Média geral
ISe	0,84**	0,80**	0,93**	0,85**	0,70**	0,85**	0,92**	0,86**	1,00**
ISu	-0,46*	0,56**	0,33	-0,61**	0,37	0,17	-0,63**	0,25	-0,22
IT	0,84**	0,80**	0,93**	0,85**	0,70**	0,84**	0,92**	0,86**	1,00**

** e *: Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t.

Fonte: Do autor (2019).

Para melhor visualização e identificação dos clones quanto a tolerância e responsividade plotou-se as médias em um gráfico em que o eixo x representa as médias no ambiente sem estresse e o eixo y recebe as médias do ambiente com estresse. No quadrante I encontram-se os materiais genéticos caracterizados como tolerantes, pois têm média superior ao geral no ambiente com estresse, e responsivos, já que também apresentam desempenho superior ao médio observado na safra de condições sem estresse de calor. Em contrapartida no quadrante III estão os clones sensíveis ao estresse e também não responsivos à melhoria das condições ambientais (FIGURA 2, 3 e 4).

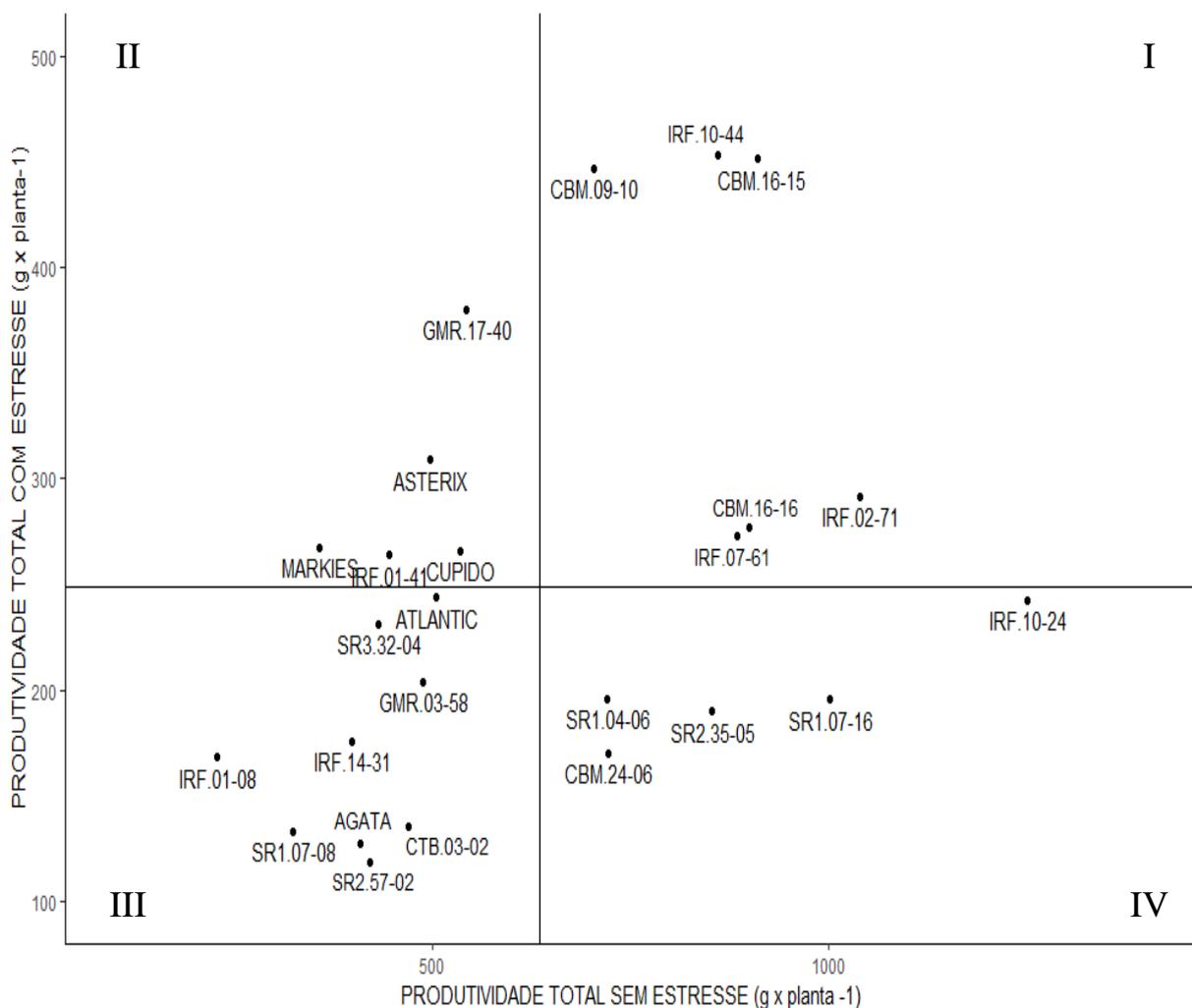
A Figura 2 mostra a distribuição dos clones nos quatro quadrantes considerando a produtividade total de tubérculos. Os genótipos de desempenho superior foram os clones CBM 09-10, IRF 10-44, CBM 16-15, IRF 02-71, CBM 16-16 e IRF 07-61, portanto, tolerantes e responsivos (quadrante I) (FIGURA 2). Parte desses também foram definidos como tolerantes pelos índices de tolerância (IT) e de seleção (ISe) para esta variável de resposta. Vale mencionar também os clones IRF 10-24 (muito responsivo) e GMR 17-40 (tolerante) enquadrados pelos índices anteriormente. No terceiro quadrante (sensíveis e não responsivos) encontram-se os genótipos Atlantic, SR3 32-04, GMR 03-58, IRF 14-31, IRF 01-08, CTB 03-02, SR1 07-08, SR2 57-02 e Ágata, sendo os três últimos coincidentes com as outras análises do presente trabalho.

Para produtividade de tubérculos grãos, os resultados foram semelhantes (FIGURA 3). No primeiro quadrante, os mesmos clones foram agrupados, à exceção do CBM 16-16 para entrada do clone SR1 04-06. Os de menor rendimento (quadrante III) foram os genótipos Ágata, IRF 01-08, SR2 57-02 e SR1 07-08, além dos demais citados para produtividade total e o clone IRF 01-41.

Os resultados referentes ao teor de matéria seca dos tubérculos são apresentados na

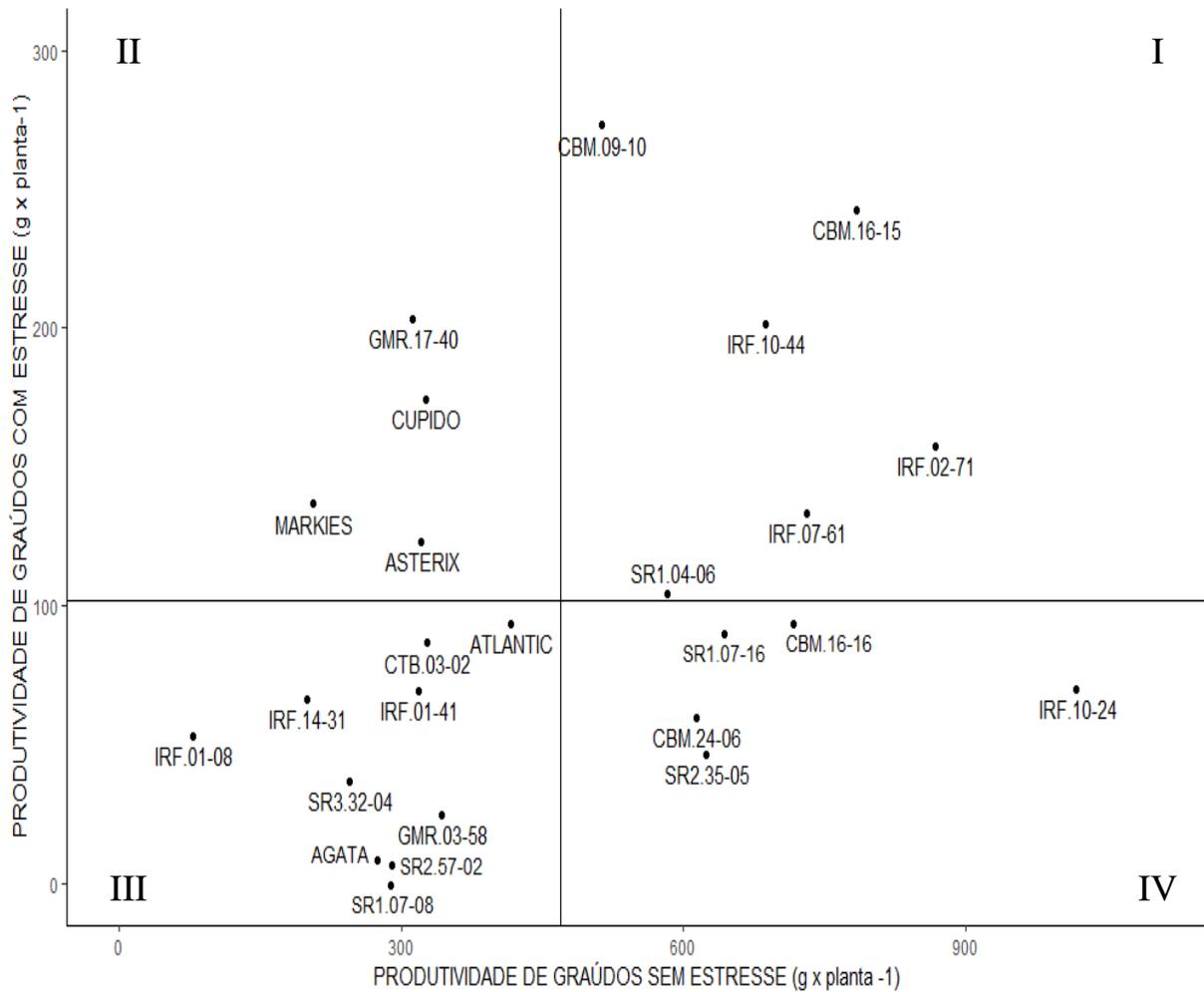
Figura 4. Os genótipos que apresentaram melhor desempenho nos dois ambientes foram bem distintos dos destaques quanto a produtividade, salvo exceções como os clones CBM 09-10, CBM 16-16 (em produtividade total) e SR1 07-16 (em produtividade de grãos) no quadrante I, e entre outros quanto aos sensíveis e não tolerantes, no qual a Ágata apresentou o menor desempenho também em matéria seca. Destaque para o clone SR2 57-02 como sendo o mais responsivo e segundo mais tolerante, ficando atrás apenas do CTB 03-02. Atlantic, CBM 16-16 e SR1 04-06 são alguns dos demais clones com melhor desempenho em matéria seca de tubérculos nos dois ambientes.

Figura 2 – Média de produtividade total de tubérculos dos genótipos no ambiente com estresse e no ambiente sem estresse de calor. Quadrante I – Genótipo tolerante ao calor e responsivo; Quadrante II – Genótipo tolerante ao calor e não responsivo; Quadrante III – Genótipo sensível ao calor e não responsivo; Quadrante IV – Genótipo sensível ao calor e responsivo. Lavras, MG.



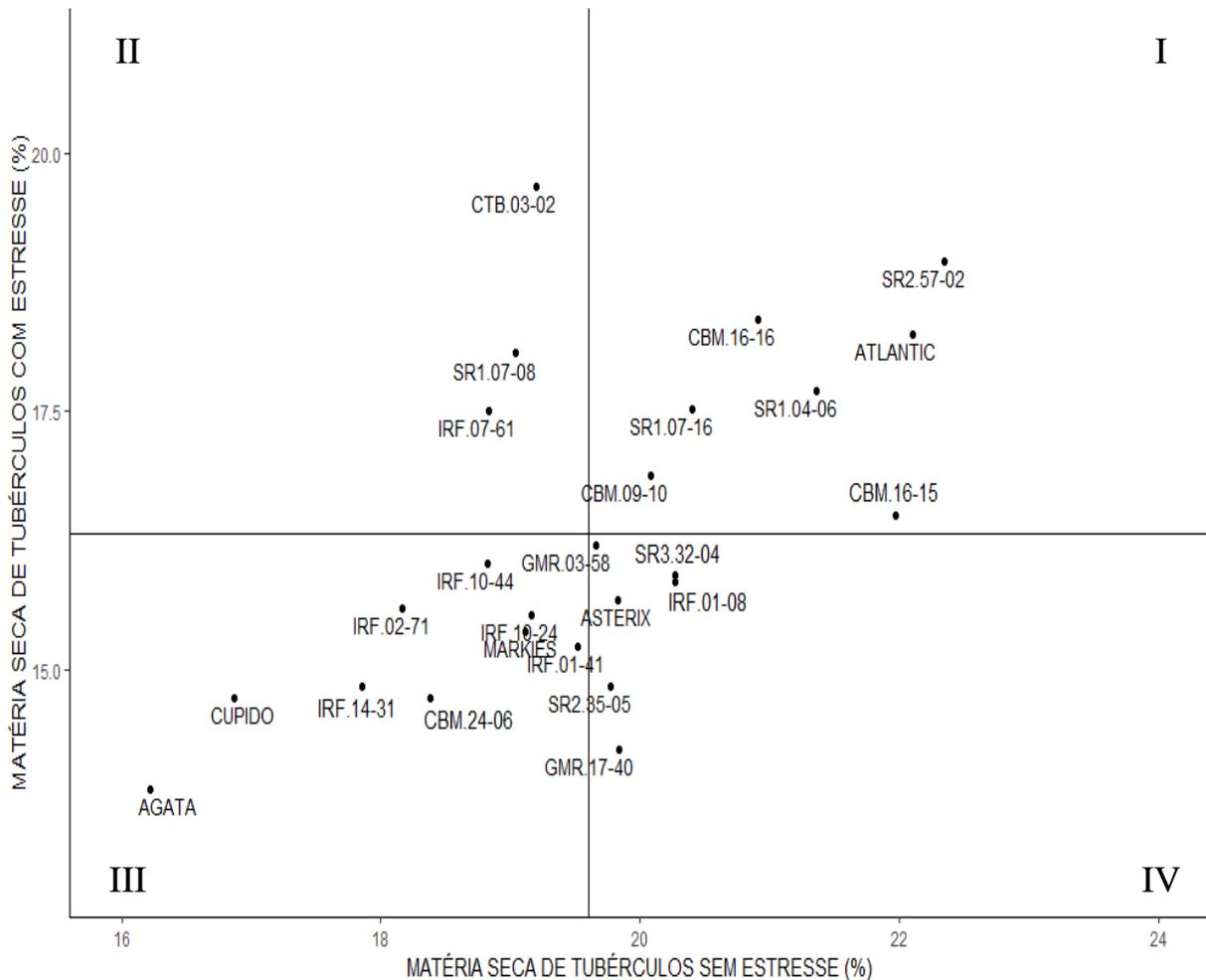
Fonte: Do autor (2019).

Figura 3 – Média de produtividade de tubérculos graúdos dos genótipos no ambiente com estresse e no ambiente sem estresse de calor. Quadrante I – Genótipo tolerante ao calor e responsivo; Quadrante II – Genótipo tolerante ao calor e não responsivo; Quadrante III – Genótipo sensível ao calor e não responsivo; Quadrante IV – Genótipo sensível ao calor e responsivo. Lavras, MG.



Fonte: Do autor (2019).

Figura 4 – Média do teor de matéria seca de tubérculos dos genótipos no ambiente com estresse e no ambiente sem estresse de calor. Quadrante I – Genótipo tolerante ao calor e responsivo; Quadrante II – Genótipo tolerante ao calor e não responsivo; Quadrante III – Genótipo sensível ao calor e não responsivo; Quadrante IV – Genótipo sensível ao calor e responsivo. Lavras, MG.



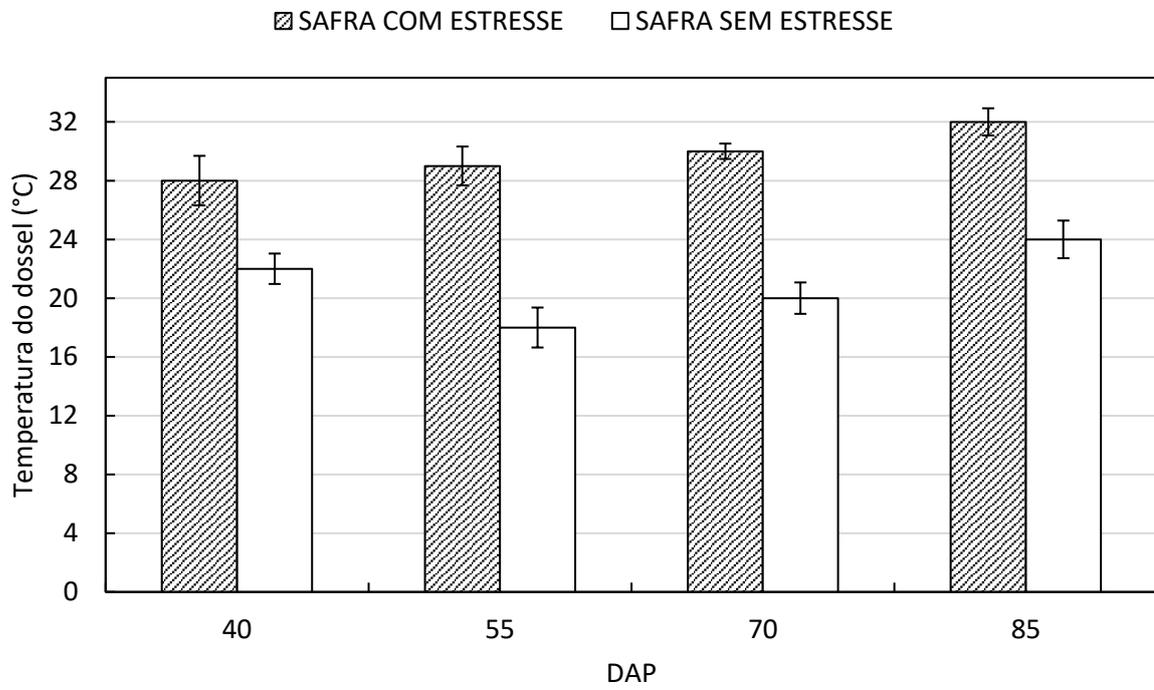
Fonte: Do autor (2019).

4.3 Respostas fisiológicas

4.3.1 Variação da temperatura do dossel da planta

Na Figura 5 encontram-se as temperaturas foliares médias do dossel da planta registradas nos quatro períodos de avaliação na safra com e sem estresse de calor. As diferenças nas temperaturas entre as duas safras foram de 6 °C (40 DAP) a 11° C (55 DAP). No ambiente sem estresse, as temperaturas médias variaram entre 18 °C (55 DAP) e 24 °C (85 DAP), enquanto que na safra com estresse a variação foi de 28 °C a 32 °C.

Figura 5 – Médias gerais da temperatura do dossel da planta (°C) dos clones de batata durante a safra com estresse e sem estresse de calor. Lavras, MG. DAP – Dias após o plantio. Barras mostram o erro padrão da média.



Fonte: Do autor (2019).

4.3.2 Trocas gasosas

Na Figura 6 encontra-se resumido o desempenho médio observado em cada safra para os caracteres de trocas gasosas referentes às quatro épocas de avaliação: 40, 55, 70 e 85 dias após o plantio (DAP).

A taxa fotossintética (FIGURA 6A) durante a safra com estresse foi maior até a terceira época de medição, com valores médios de 20,32 (40 DAP), 23,55 (55 DAP) e 17,48 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (70 DAP), porém aos 85 DAP seu desempenho foi reduzido (9,18 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) em relação ao ambiente sem estresse. Este por sua vez manteve-se ligeiramente constante, mesmo que menor, durante quase todo o ciclo alternando de 15,27 a 12,97 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ entre o início e o final do ciclo, respectivamente.

Para a condutância dos estômatos (FIGURA 6B) e transpiração (FIGURA 6C) comportamentos similares foram observados, bem como quanto aos maiores valores observados durante a safra com estresse de calor. O desempenho dos clones na época de temperaturas mais elevadas apresentou maiores médias quanto ao observado na safra sem

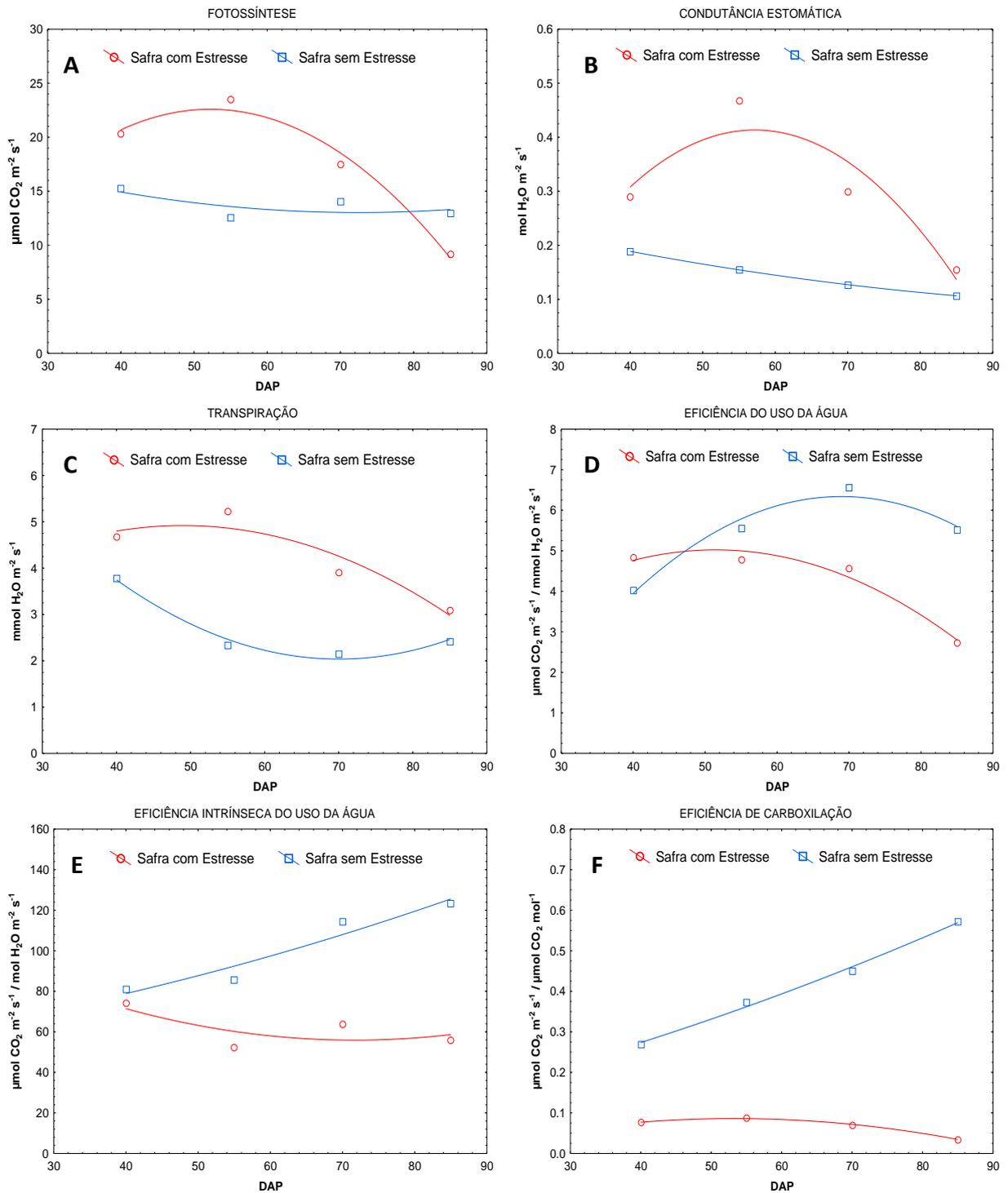
estresse. Apesar disso, durante a safra com estresse a condutância apresentou forte queda a partir dos 55 DAP ($0,4675 \text{ mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) até $0,1553 \text{ mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ aos 85 DAP (66% de redução), e de $5,22 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para $3,09 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (40,8% de redução), durante o mesmo intervalo, para transpiração. Durante a safra sem estresse, por sua vez, tanto a condutância quanto a transpiração apresentaram menores reduções no decorrer das avaliações apesar de chegar a números brutos inferiores ($0,1069 \text{ mol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e $2,42 \text{ mmol de H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, para condutância e transpiração, respectivamente) aos 85 DAP.

A eficiência do uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso da água (A/Gs) e eficiência de carboxilação (A/Ci) apresentaram desempenho distinto do observado para a fotossíntese, condutância e transpiração (FIGURA 6 D, E e F). Para as variáveis de eficiência, os valores médios da safra sem estresse foram, durante quase todo o ciclo, superiores aos da safra com estresse. Em outras palavras, as plantas durante o período de estresse por calor foram menos eficientes nas trocas gasosas quando se avalia a eficiência dos processos fisiológicos por meio da razão entre as variáveis.

Além disso, para a eficiência intrínseca do uso da água e eficiência de carboxilação os valores médios aumentaram consistentemente durante todo o ciclo, mesmo quando já próximo ao final do ciclo da cultura. A eficiência do uso da água na safra com estresse, por exemplo, apresentou redução de 43,5% entre as mensurações aos 40 e 85 DAP (FIGURA 6D).

Aos 85 DAP, por exemplo, as plantas na safra sem estresse foram, em média, 102% mais eficientes no uso da água. Para a eficiência intrínseca do uso da água, representada pela razão entre a taxa fotossintética e a condutância dos estômatos, a vantagem da safra sem estresse aos 70 DAP fora de aproximadamente 80%, atingindo valor médio 120% maior do que o observado na safra com ambiente de estresse por calor no final do ciclo. Para a eficiência de carboxilação, a safra sem estresse foi ainda 16 vezes superior na comparação de mesmo período (FIGURA 6F).

Figura 6 – Médias gerais da taxa fotossintética (A), condutância dos estômatos (B), transpiração (C), eficiência do uso da água (D), eficiência intrínseca do uso da água (E) e eficiência de carboxilação (F) observadas na safra com estresse e sem estresse de calor. Lavras, MG. DAP – Dias após o plantio.



Fonte: Do autor (2019).

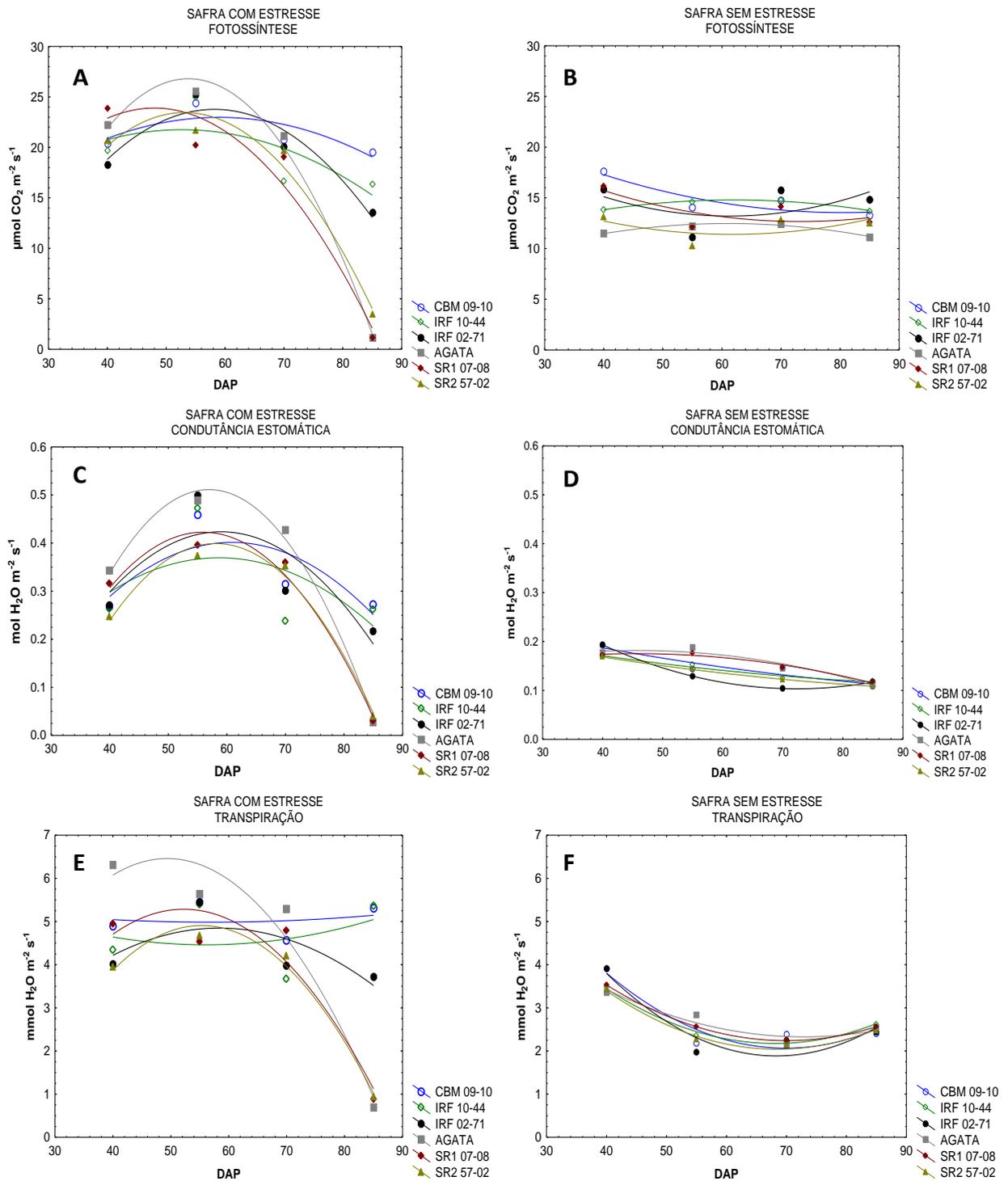
Nas Figuras 7 e 8 estão representados os comportamentos médios dos genótipos Ágata, SR1 07-08 e SR2 57-02 (sensíveis ao calor) e CBM 09-10, IRF 10-44 e IRF 02-71 (tolerantes e responsivos) para os caracteres de trocas gasosas foliares referentes às quatro épocas de avaliação: 40, 55, 70 e 85 dias após o plantio. Tais clones compõem uma amostra que foram selecionados a partir dos resultados da análise gráfica que os classificou nessas categorias.

A taxa fotossintética dos clones na safra com estresse permitiu observar de fato grande diferença entre os genótipos tolerantes e não tolerantes aos 85 DAP. Nesse ponto, os materiais tolerantes apresentaram média de $16,5 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ enquanto os mais sensíveis apenas $1,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Os clones CBM 09-10, IRF 10-44 e IRF 02-71 apresentaram valores de 19,56, 16,34 e $13,59 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectivamente aos 85 dias (FIGURA 7A). Entretanto, no ambiente sem estresse (FIGURA 7B) os clones mostraram comportamento bem similar, não se observando diferenças significativas entre a primeira (média de 15,7 para os tolerantes e $13,62 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para os sensíveis) e a última avaliação ($13,95$ para os tolerantes e $12,06 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para os sensíveis) nessa safra.

Para a condutância estomática, desempenho muito similar foi observado (FIGURA 7C e D). Outra vez, os clones mais tolerantes aos 85 DAP foram bem superiores com relação aos sensíveis na safra com estresse. Os melhores mostraram médias entre 0,2168 (IRF 02-71) e $0,2729 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (CBM 09-10) e, por outro lado, nesse mesmo período, os mais sensíveis tiveram suas condutâncias reduzidas para valores entre 0,0275 (Ágata) e $0,0394 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (SR2 57-02). No ambiente sem estresse, por sua vez, o desempenho observado foi bem semelhante entre os clones, tendo as em cada época (DAP) não ultrapassando $0,06 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, como notado aos 55 DAP.

Relativo à transpiração (FIGURA 7E e F), padrão semelhante ao das taxas fotossintéticas e condutâncias foi observado, entretanto para este caso, na safra com estresse, os clones tolerantes apresentaram desempenho pouco variável desde o início do ciclo, a exceção do IRF 02-71 que demonstrou ligeira redução nas taxas transpiratórias aos 85 DAP. Em contrapartida, os clones sensíveis ao calor manifestaram fortes reduções a partir dos 55 DAP, especialmente a testemunha Ágata ($5,63$ para $0,70 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ aos 85 DAP), resultando em média para esse grupo de $0,8390 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ nesta última medição (FIGURA 7E). Os tolerantes, a exemplo, mantiveram média em torno de $4,79 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Na condição sem estresse, todos os clones exibiram comportamento equivalente (FIGURA 7F).

Figura 7 – Taxa fotossintética (A, B), condutância dos estômatos (C, D) e transpiração (E, F) dos genótipos Ágata, SR1 07-08 e SR2 57-02 (sensíveis ao calor) e CBM 09-10, IRF 10-44 e IRF 02-71 (tolerantes e responsivos) na safra com estresse e sem estresse de calor. Lavras, MG. DAP – Dias após o plantio.



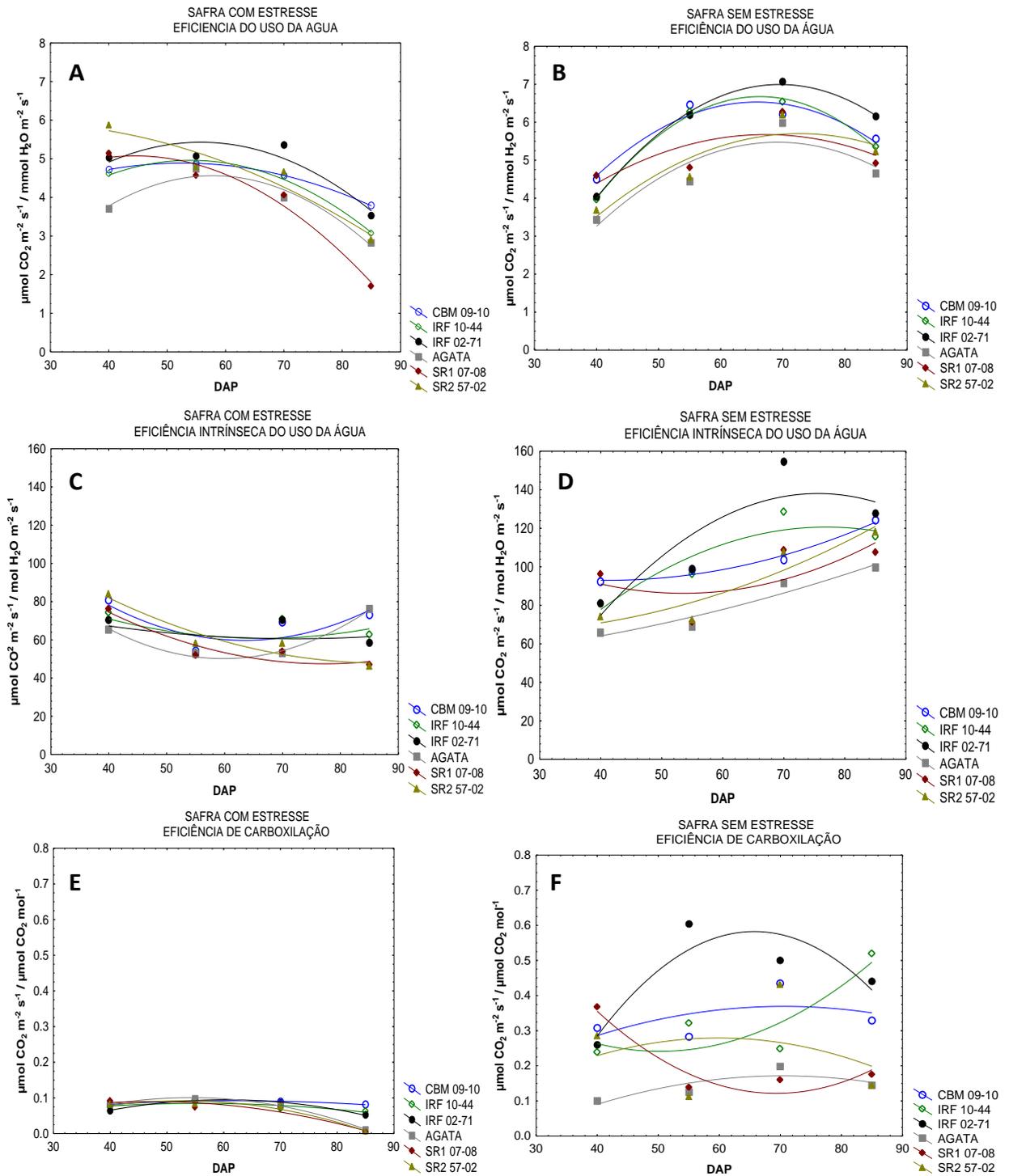
Fonte: Do autor (2019).

Na Figura 8 encontram-se os resultados referentes à eficiência do uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso da água (A/Gs) e eficiência de carboxilação (A/Ci). A razão entre a fotossíntese e a transpiração (A/E) (FIGURA 8 A e B) expressou efeito similar ao observado na média geral da safra com estresse para esta característica (FIGURA 6D). Os clones apresentaram reduções desde o início do ciclo, porém sem diferenciação significativa entre as médias. Aos 85 DAP, a média dos clones tolerantes foi 40% superior. O genótipo de melhor desempenho (CBM 09-10) foi aproximadamente 122% mais eficiente que o pior clone (SR1 07-08). Por outro lado, na safra sem estresse, os clones exibiram comportamento crescente no decorrer do ciclo da cultura. Os genótipos tolerantes demonstraram desempenho ligeiramente superior já aos 55 e até aos 70 DAP em relação aos sensíveis, cuja média foi 36,9% menor.

A eficiência intrínseca do uso da água apresentou médias decrescentes na safra com estresse principalmente para os genótipos sensíveis SR1 07-08 e SR2 57-02 (FIGURA 8C). Apesar disso, ao final do ciclo os clones tolerantes foram apenas 15% superiores, em média. Novamente, no decurso da safra sem estresse os clones tolerantes manifestaram desempenho levemente superior aos mais sensíveis a partir da segunda avaliação, mas ainda assim maior do que fora observado na safra com estresse para esta variável (FIGURA 8D).

Por fim, quanto à eficiência de carboxilação, foi observado performance bem inferior para todos os materiais genéticos na safra com estresse por calor (FIGURA 8E). Não obstante, ainda assim os clones tolerantes foram 10 vezes mais eficientes na assimilação de carbono em função das taxas fotossintéticas. Na safra sem estresse (FIGURA 8F), os genótipos mostraram muitas flutuações durante as avaliações entre comportamentos mais crescentes (CBM 09-10 e IRF 10-44) e decrescentes (SR1 07-08 e SR2 57-02). Variações a parte, outra vez o desempenho médio dos clones tolerantes e responsivos foi bastante superior, alcançando resultado médio dos genótipos 178,3% maior.

Figura 8 – Eficiência do uso da água (A, B), eficiência intrínseca do uso da água (C, D) e eficiência de carboxilação (E, F) dos genótipos Ágata, SR1 07-08 e SR2 57-02 (sensíveis ao calor) e CBM 09-10, IRF 10-44 e IRF 02-71 (tolerantes e responsivos) na safra com estresse e sem estresse de calor. Lavras, MG. DAP – Dias após plantio.



Fonte: Do autor (2019).

Na Tabela 10 estão os coeficientes de correlação entre as trocas gasosas e os índices calculados a partir dos caracteres agronômicos de produtividade total, produtividade de grãos e teor de matéria seca de tubérculos. Entre os índices, observa-se ausência de correlações significativas entre o índice de suscetibilidade e as médias das trocas gasosas em todas as condições ambientais. O índice de tolerância e o índice de seleção apresentaram correlações idênticas entre todas as características e safras, inclusive na média geral dos ambientes. Os resultados reforçam, novamente, o desempenho coincidente entre os dois índices, desta vez na avaliação dos parâmetros fisiológicos. Entre os caracteres agronômicos, o teor de matéria seca não foi correlacionado significativamente com as trocas gasosas das plantas em todos os índices avaliados.

Além disso, as médias de fotossíntese (A), eficiência do uso da água (A/E) e eficiência intrínseca do uso da água (A/Gs) apresentaram correlações positivas e significativas com os índices de seleção (ISe) e de tolerância (IT), na safra sem estresse e na média dos ambientes, para produtividade total e produtividade de tubérculos grãos. A eficiência de carboxilação foi significativa apenas com o ambiente com estresse de calor (TABELA 10).

Na Tabela 11 encontram-se sumarizados os coeficientes de correlação entre os caracteres agronômicos e as variáveis de trocas gasosas, na média das quatro épocas de avaliação, para cada safra separadamente.

Na safra com estresse (diagonal inferior), menor número de correlações significativas foram observadas. Neste ambiente, a produtividade total de tubérculos apresentou correlação significativa com número e produtividade de tubérculos grãos, e, em menor magnitude, com as eficiências intrínseca do uso da água e eficiência de carboxilação. Comportamento semelhante foi observado quanto a produtividade de tubérculos grãos.

Para as variáveis fisiológicas em relação aos caracteres agronômicos ocorreram valores de menor magnitude, não diferentes de zero. Correlações maiores foram observadas entre os parâmetros fisiológicos. Entre as variáveis fisiológicas nesta safra, destacaram-se também as correlações altas e significativas, principalmente entre a fotossíntese e os demais parâmetros fisiológicos.

Na safra sem estresse (diagonal superior), no entanto, além das correlações positivas entre os caracteres agronômicos e fisiológicos, separadamente, foram constatadas correlações significativas dos primeiros (PT, PG, NG e PMG) com as taxas fotossintéticas. Esses caracteres foram também significativos com a eficiência do uso da água e a eficiência intrínseca do uso da água.

Na Tabela 12, por sua vez, estão apresentados os coeficientes de correlação entre os caracteres para as duas safras simultaneamente. Foram observadas poucas associações entre as variáveis. Quanto às respostas fisiológicas, a fotossíntese das plantas em condições sem estresse de calor apresentou correlações significativas com a produtividade total, a produtividade de tubérculos graúdos e o número de tubérculos graúdos na safra com estresse. Altas correlações também ocorreram entre o peso médio dos tubérculos na safra sem estresse e boa parte dos demais caracteres agrônômicos. O maior número de tubérculos graúdos no ambiente com estresse, por exemplo, foi significativamente correlacionado com maiores produtividades na safra sem estresse de calor. Entretanto, nenhuma correlação significativa foi observada entre os parâmetros fisiológicos em condições de estresse e os caracteres agrônômicos no ambiente de condições mais favoráveis.

Tabela 10 – Coeficientes de correlação entre as médias de fotossíntese (A), condutância estomática (Gs), transpiração (E), eficiência do uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso da água (A/Gs) e eficiência de carboxilação (A/Ci), e os índices de seleção, índice de suscetibilidade e índice de tolerância para os caracteres produtividade total (PT), produtividade de graúdos (PG) e teor de matéria seca (MS) na safra com estresse e sem estresse de calor. Lavras, MG.

Média		Índice de Seleção			Índice de Suscetibilidade			Índice de Tolerância		
		PT	PG	MS	PT	PG	MS	PT	PG	MS
A	Com estresse	0,38	0,38	-0,27	0,07	-0,16	-0,02	0,38	0,38	-0,27
	Sem estresse	0,66**	0,58**	0,22	0,25	0,18	-0,06	0,66**	0,58**	0,22
	Geral	0,58**	0,55**	-0,14	0,16	-0,06	-0,04	0,58**	0,55**	-0,14
Gs	Com estresse	0,00	-0,01	-0,28	0,13	-0,05	0,06	0,00	-0,01	-0,28
	Sem estresse	-0,10	-0,15	-0,38	0,04	0,13	0,22	-0,10	-0,15	-0,38
	Geral	-0,02	-0,03	-0,33	0,13	-0,03	0,09	-0,02	-0,03	-0,33
E	Com estresse	0,18	0,18	-0,36	0,02	-0,19	0,14	0,18	0,18	-0,36
	Sem estresse	0,18	0,14	-0,22	0,07	-0,10	0,23	0,18	0,14	-0,22
	Geral	0,20	0,19	-0,37	0,03	-0,20	0,17	0,20	0,19	-0,37
A/E	Com estresse	0,31	0,30	0,11	0,11	0,05	-0,27	0,31	0,30	0,11
	Sem estresse	0,48*	0,46*	0,28	0,20	0,14	-0,21	0,48*	0,46*	0,28
	Geral	0,51**	0,48*	0,25	0,20	0,12	-0,30	0,51**	0,48*	0,25
A/Gs	Com estresse	0,39	0,38	-0,07	-0,07	-0,14	-0,21	0,39	0,38	-0,07
	Sem estresse	0,53**	0,50*	0,28	0,24	0,08	-0,20	0,53**	0,50**	0,28
	Geral	0,58**	0,56**	0,17	0,14	-0,02	-0,25	0,58**	0,56**	0,17
A/Ci	Com estresse	0,51**	0,52**	-0,29	0,02	-0,22	-0,02	0,51**	0,52**	-0,29
	Sem estresse	0,22	0,13	0,29	0,18	0,13	-0,19	0,22	0,13	0,29
	Geral	0,23	0,14	0,28	0,18	0,13	-0,19	0,23	0,14	0,28

** e *: Significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste t.

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 11 – Coeficientes de correlação entre as médias dos caracteres produtividade total (PT), produtividade de grãos (PG), teor de matéria seca (MS), número de grãos (NG), peso médio de grãos (PMG), desordens fisiológicas (DES), fotossíntese (A), condutância estomática (Gs), transpiração (E), eficiência do uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso da água (A/Gs) e eficiência de carboxilação (A/Ci) na safra com estresse (diagonal inferior) e sem estresse de calor (diagonal superior). Lavras, MG.

	PT	PG	MS	NG	PMG	DES	A	Gs	E	A/E	A/Gs	A/Ci
PT	1	0,98*	0,07	0,90*	0,47*	-0,13	0,66*	0,01	0,26	0,47*	0,54*	0,28
PG	0,89*	1	0,09	0,92*	0,47*	-0,17	0,66*	-0,06	0,20	0,49*	0,57*	0,29
MS	-0,17	-0,12	1	0,18	-0,14	-0,28	0,21	-0,26	-0,12	0,20	0,20	0,19
NG	0,91*	0,90*	-0,08	1	0,20	-0,26	0,59*	-0,11	0,17	0,42*	0,51*	0,37
PMG	0,23	0,44*	-0,14	0,33	1	0,04	0,47*	-0,07	0,16	0,41*	0,38	0,04
DES	0,14	0,22	0,08	0,10	0,51	1	-0,09	-0,05	-0,20	0,11	0,09	-0,06
A	0,31	0,35	-0,21	0,29	0,23	0,02	1	-0,05	0,17	0,83*	0,82*	0,57*
Gs	-0,10	-0,06	-0,25	-0,09	0,07	-0,06	0,79*	1	0,42*	-0,30	-0,46*	-0,15
E	0,15	0,18	-0,34	0,14	0,17	0,04	0,85*	0,92*	1	-0,35	-0,08	0,00
A/E	0,25	0,25	0,21	0,25	0,26	0,09	0,43*	-0,01	-0,04	1	0,87*	0,53*
A/Gs	0,43*	0,44*	0,03	0,47*	0,30	0,20	0,15	-0,39	-0,23	0,67*	1	0,57*
A/Ci	0,54*	0,58*	-0,20	0,50*	0,33	0,05	0,89*	0,52*	0,69*	0,44*	0,40*	1

*: Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Fonte: Do autor (2019).

Tabela 12 – Coeficientes de correlação entre as médias dos caracteres produtividade total (PT), produtividade de grãos (PG), teor de matéria seca (MS), número de grãos (NG), peso médio de grãos (PMG), desordens fisiológicas (DES), fotossíntese (A), condutância estomática (Gs), transpiração (E), eficiência do uso da água (A/E), eficiência intrínseca do uso da água (A/Gs) e eficiência de carboxilação (A/Ci) entre as safras com estresse (CE) e sem estresse de calor (SE). Lavras, MG.

SE \ CE	PT	PG	MS	NG	PMG	DES	A	Gs	E	A/E	A/Gs	A/Ci
PT	0,38	0,37	0,15	0,30	0,52*	-0,24	0,49*	-0,25	0,14	0,36	0,38	0,11
PG	0,38	0,36	0,05	0,25	0,59*	-0,04	0,41*	-0,28	0,25	0,31	0,40*	0,05
MS	0,04	0,10	0,60*	0,11	-0,19	0,14	0,22	-0,28	-0,29	0,34	0,32	0,31
NG	0,42*	0,42*	0,08	0,33	0,56*	-0,02	0,56*	-0,42*	0,09	0,49*	0,59*	0,23
PMG	0,07	-0,03	-0,09	-0,08	0,42*	0,38	0,00	-0,16	-0,20	0,25	0,15	0,04
DES	0,02	0,00	-0,03	-0,09	0,37	0,21	0,29	-0,02	-0,20	0,47*	0,27	0,07
A	0,36	0,27	-0,27	0,22	0,28	-0,15	0,21	0,23	0,30	0,04	0,02	0,03
Gs	0,11	0,04	-0,24	0,09	-0,03	-0,21	-0,02	0,26	0,19	-0,10	-0,14	0,00
E	0,21	0,12	-0,28	0,11	0,18	-0,17	0,12	0,29	0,30	-0,03	-0,07	-0,07
A/E	0,31	0,24	-0,03	0,19	0,16	0,06	0,23	0,05	-0,12	0,26	0,22	0,24
A/Gs	0,24	0,19	-0,18	0,16	0,23	0,26	0,32	-0,03	0,03	0,27	0,27	0,23
A/Ci	0,29	0,19	-0,25	0,13	0,34	-0,08	0,27	0,21	0,39*	0,05	0,04	0,05

*: Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Fonte: Do autor (2019).

5 DISCUSSÃO

5.1 Estresse por calor e caracteres agronômicos

No país, a produção de batata ocorre de forma contínua o ano inteiro, sendo dividida em três safras, sendo elas a “das águas”, da seca e de inverno. Nestas duas primeiras safras ocorrem boa parte da produção nacional, durante o período mais quente do ano, e com produtividades na média nacional em torno de 27 a 29 t. ha⁻¹. Por outro lado, nas safras de inverno, a qual apresenta condições de temperatura mais favoráveis e menos estressantes para a cultura, observa-se rendimentos médios nacionais de até 36 t. ha⁻¹, atingindo 40,1 toneladas para o estado de Minas Gerais (IBGE, 2019).

Isso evidencia bem os efeitos negativos da condição de estresse térmico provocados na batateira em termos de redução de produtividade, o que também foi observado neste estudo (TABELA 7). Levy e Veilleux (2007) já destacaram como temperaturas ideais para o cultivo em torno de 14 e 22 °C, o que não foi observado na safra com estresse em que a média foi de 25 °C e valores máximos em média de 37 °C, condições extremamente danosas para a batateira (FIGURA 1). Além disso, reflexos do ambiente foram sentidos na própria temperatura da planta que alcançou médias entre 28 e 32 °C nas folhas (FIGURA 5).

Demirel et al. (2017), em trabalho avaliando 17 genótipos de batata em condições favoráveis e de estresse por calor, também observaram reduções elevadas no número de tubérculos e produtividade total em até 51% entre as médias das condições experimentais.

Estas condições exemplificadas apenas reforçam e aumentam a necessidade de desenvolver cultivares mais adaptadas ao clima tropical, tendo sempre em vista que as principais cultivares utilizadas pelos agricultores no Brasil têm origem em países de clima temperado. Algumas delas presentes neste trabalho e que apresentaram desempenho inferior à média em condições de estresse (TABELA 4 e 7).

Em contrapartida, e no intuito de lidar com esse problema, o programa de melhoramento da batata (PROBATATA) da UFLA desenvolveu, ao longo dos anos, vários clones tolerantes ao calor, entre eles os clones CBM 09-10, CBM 16-15 e CBM 16-16 (MENEZES; PINTO; LAMBERT, 2001) utilizados nos experimentos e que apresentaram bom desempenho quanto à tolerância e responsividade nos ambientes (FIGURA 2 e 3). Esses clones também já foram avaliados em vários experimentos, comprovando suas eficiências (LAMBERT et al., 2006b; PINTO et al., 2010; LYRA et al., 2015; GUEDES, 2018). Outros clones em destaque nesta pesquisa foram os genótipos IRF, a exemplo o IRF 10-44, IRF 02-

71 e IRF 07-61 (FIGURA 2 e 3), também avaliados em condições de altas temperaturas e mais amenas em Lavras e outros locais (GUEDES, 2018; LYRA et al., 2015).

Esses clones superiores confirmam que a melhor alternativa para selecionar genótipos tolerantes às condições de estresse é por meio da seleção na média dos dois ambientes (LAMBERT et al., 2006b), pois sabe-se que a seleção direta somente no ambiente com estresse é usualmente complicada de ser realizada, já que além do efeito de altas temperaturas outros efeitos externos e variáveis de ambiente incontrolláveis podem ocorrer e afetar a precisão dos trabalhos e da seleção (SOUZA et al., 2011).

Prova disso foram os maiores coeficientes de variação e menores acurácias encontradas nos experimentos durante a safra com estresse para boa parte das características avaliadas (TABELA 2 e 5), bem como a formação de menos agrupamentos de médias pelos testes estatísticos, gerando apenas um agrupamento, como para peso médio de grãos (TABELA 4) ou apenas dois grupos de clones, como observado para o número de grãos, produtividade de grãos e teor de matéria seca (TABELA 4 e 7), se comparados aos resultados obtidos na safra sem estresse.

Isso denota a maior dificuldade em se trabalhar em condições de estresse, como já comprovado em outros trabalhos realizados pelo programa de melhoramento da UFLA – PROBATATA, onde por vezes em trabalhos de seleção o ambiente de altas temperaturas gera baixas herdabilidades e acurácias, e também complicações nas estimativas de componentes de variância associados às capacidades de combinação (FERNANDES, 2018a).

O número de tubérculos é igualmente bastante afetado como a produtividade. Os tubérculos são formados pelo acúmulo dos produtos fotossintéticos nas pontas dos estolões. Desse modo, a produção e o crescimento desses tubérculos são altamente dependentes da manutenção do processo fotossintético e do correto particionamento dos fotoassimilados (DEMIREL et al., 2017; LEVY; VEILLEUX, 2007; KIM; LEE, 2016; STRUIK, 2007).

As plantas de batata sob estresse por calor são afetadas não apenas em produtividade, mas também nas taxas de desordens fisiológicas, que aumentaram consideravelmente. No presente trabalho os clones apresentaram, em média, 20% de desordens, porém com genótipos com mais de 50%, como Asterix e o clone CTB 03-02, sendo esse último um dos mais afetados mesmo sem o estresse de calor. Os tubérculos ficam com aspecto qualitativo depreciado, aumentando a porcentagem de rachaduras (fissuras na superfície do tubérculo também provocadas por estresse hídrico), embonecamento (crescimento desuniforme associado às temperaturas extremas e disponibilidade nutricional), entre outras desordens como coração oco e coração negro (BENITES; PINTO, 2011). Atenção especial deve ser

direcionada aos caracteres de resistência às desordens fisiológicas dos tubérculos, especialmente quando for realizada a seleção especificamente para condições de estresse.

Os índices baseados nas características de produtividade e matéria seca deste estudo, por sua vez, visam auxiliar na identificação dos genótipos superiores. O índice de seleção (ISe) utilizado por Lambert et al. (2006b) para produtividade total apresentou alta coincidência com os clones selecionados pela análise gráfica. Este índice seleciona genótipos com maior produtividade em ambas as condições ambientais, porém, clones com média tolerância, mas que são responsivos ao ambiente, podem ser selecionados, como comentam Parentoni et al. (2001), em trabalho sobre o uso de índices para adaptação a solos ácidos em milho. De fato, tal resultado foi observado, pois além dos clones tolerantes e responsivos, o genótipo IRF 10-24 apresentou alto índice, sendo este o mais responsivo entre todos os avaliados para produtividade com 1251,7 g. planta⁻¹ e 81% de grãos, em média (TABELA 7 e FIGURA 2).

Este índice também foi bem avaliado por Lambert et al. (2006b), pois apresentou correlação positiva simultaneamente com todas as médias ambientais consideradas, para os caracteres de produção e peso específico de tubérculos, chamando atenção, entretanto, para as menores correlações entre o índice e o ambiente sem estresse para produtividade total (0,48), o que não foi observado nessa magnitude neste trabalho (0,80) (TABELA 9).

O índice de tolerância ao calor foi eficiente em identificar os genótipos tolerantes (TABELA 8). Também apresentou correlações positivas e significativas com as médias dos ambientes, sendo útil como índice de seleção. Estas correlações foram quase idênticas às observadas para o índice de seleção (Lambert et al., 2006b). Resultados de elevada magnitude e positivos de correlações deste índice com as produtividades em condições de estresse (0,85 a 0,93), condições favoráveis (0,92 a 0,93) e na média dos ambientes em cada condição (0,93 a 0,94) também foram encontrados por Demirel et al. (2017).

O índice de suscetibilidade, por sua vez, desenvolvido por Fischer & Maurer (1978) tem como diferencial a identificação de indivíduos com os menores valores. Alguns dos resultados apresentados condizem com o problema relatado para este índice em que se seleciona materiais com baixo desempenho nos melhores ambientes, como poderia ser para as testemunhas Markies, Asterix e Atlantic (TABELA 8) que não estão entre os mais responsivos no ambiente sem estresse. Além do mais, clones altamente responsivos apresentaram elevados valores para o índice como IRF 10-24, IRF 07-61 e IRF 02-71, os dois últimos sendo responsivos e também tolerantes ao estresse de calor para produtividade total. Este índice apresentou pouca coincidência com os resultados baseados na análise gráfica,

além de alta correlação negativa com as médias sob estresse e positiva, porém baixa, com as médias dos ambientes favoráveis (TABELA 9). Resultados muito similares também foram encontrados por Lambert et al. (2006b). Os autores afirmam ainda que quando se deseja adaptação mais ampla dos genótipos, a seleção pelos índices com base na média dos ambientes deve ser praticada, mesmo porque os produtores normalmente procuram por ambientes mais favoráveis ao cultivo da batata.

5.2 Estresse por calor, trocas gasosas e eficiência dos processos fisiológicos

As trocas gasosas representam alguns dos parâmetros fisiológicos mais sensíveis nas plantas, pois são fácil e rapidamente influenciadas pelas condições ambientais externas. Os estresses abióticos são dos mais prejudiciais, pois, além de provocarem um grande desbalanço nos sistemas fisiológicos, também podem estar, por vezes, associados a outras condições abióticas prejudiciais ao ser vivo.

Altas temperaturas durante o dia e, particularmente, durante a noite promovem elevada taxa de respiração das plantas, consumindo os fotoassimilados acumulados durante o dia por meio da respiração durante a noite, prejudicando seu encaminhamento para os tubérculos (FONTES; FINGER, 1999). Vários trabalhos já comprovaram isso, como no tocante ao aumento da matéria seca de folhas, altura de planta, diâmetro, área foliar, entre outros caracteres relacionados à parte aérea, associados à redução de matéria seca dos tubérculos em condições de estresse (GUEDES, 2018; HANCOCK et al., 2014; TIMLIN et al., 2006; TANG et al., 2018). Isso ganha destaque, pois elevadas taxas fotossintéticas foram observadas mesmo durante os períodos de altas temperaturas, associados ainda a maior condutância e transpiração (FIGURA 6 e 7), o que não foi convertido, de fato, em maiores produtividades de tubérculos, por exemplo (TABELA 4 e 7).

A faixa ótima de temperaturas para taxa fotossintética na batata é tida como entre 16 e 25 °C. Valores muito aquém disso podem diminuir a eficiência da fotossíntese por meio de maior fotorrespiração e respiração (BURTON, 1981; HAMMES; DE JAGGER, 1990; KU et al., 1977). Alguns autores ainda afirmam que a tolerância dos genótipos ao calor, baseada nos caracteres fisiológicos, está relacionada à maior eficiência fotossintética e menor taxa de degradação da clorofila (WOLF et al., 1990; TANG et al., 2018).

Demirel et al. (2017) observaram reduções na fotossíntese das plantas entre 59 e 65 dias após a emergência com média geral no ambiente sem estresse de 22,79 e de 20,43 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ no ambiente sob alta temperatura (médias mensais entre 17 e 27 °C), valores

próximos ao deste trabalho na safra com estresse (FIGURA 6A, e 7A e B). Para condutância dos estômatos e transpiração, porém, os autores também verificaram maiores taxas no ambiente sob estresse. Entretanto, apesar dos menores valores observados no presente trabalho, os aumentos percentuais observados da safra com estresse em relação à safra sem estresse foram bem maiores (FIGURA 6B e C), possivelmente devido ao maior efeito do calor nas plantas, já que a média das temperaturas máximas foi de 37,5 °C (FIGURA 1), enquanto de 28 a 30 °C no ambiente com estresse avaliado pelos autores.

Aumentos na condutância dos estômatos ao vapor d'água e nas taxas respiratórias em condições de estresse podem estar associadas à tentativa de amenizar o efeito das altas temperaturas. Nesse sentido, a perda de água remove o calor das folhas por meio do resfriamento evaporativo e que se torna muito importante, pois a fotossíntese é um processo dependente de temperatura (TAIZ et al., 2017).

Diversos trabalhos identificaram que em condições de elevadas temperaturas, as plantas geralmente transpiram mais para tentar resfriar seu aparato fotossintético por meio de maior condutância estomática. Isso fica comprovado devido às correlações de grande magnitude entre a transpiração e a condutância dos estômatos (0,92) no ambiente com estresse (TABELA 11). Apesar de serem variáveis diretamente relacionadas, valor dessa magnitude, porém, não é observado na safra sem estresse (0,42).

Desse modo, os genótipos de batata podem aumentar suas taxas de transpiração para evitar temperaturas elevadas nas folhas por mecanismos de refrigeração por meio de maiores taxas de condutância dos estômatos e evitando maiores reduções nas taxas fotossintéticas inicialmente (DEMIREL et al., 2017; AIEN et al., 2011; HANCOCK et al., 2014; FENG et al., 2014; LIZANA et al., 2017; CRAWFORD et al., 2012). Em outras palavras, as taxas transpiratórias aumentam (FIGURA 6C e 7E) com o aumento da temperatura do dossel (FIGURA 5), devido aos seus efeitos tanto na vaporização quanto no déficit de pressão de vapor d'água, tornando-se um mecanismo de prevenção de calor e que funciona como um dos mediadores primários de dissipação de energia (GOVINDARAJ et al., 2018).

O processo transpiratório nas culturas agrícolas é o método mais comum de resfriamento dos tecidos vegetais, com os requerimentos para o resfriamento da planta aumentando com maiores temperaturas (SEGINER, 1994). Ainda, a capacidade de manter alta condutância estomática em altas temperaturas permite promover a dissipação de calor, fato não somente observado para a cultura da batata como também em outras culturas (GOVINDARAJ et al., 2018; KAUSHAL et al., 2013).

Outros autores também relatam que esse importante sistema de resfriamento, em condições de temperaturas mais altas, pode acontecer seguido também de uma redução na eficiência do uso da água, ainda que em genótipos para os quais testa-se a aclimação ao calor (VÉGH et al., 2018). Na presente pesquisa, apesar das maiores taxas transpiratórias, a eficiência foi bem menor ao observado em condições mais favoráveis para a cultura (FIGURA 6D e 8A).

A eficiência dos processos fisiológicos foi severamente comprometida sob condições de estresse por calor de modo que as eficiências relacionadas ao uso da água e à carboxilação foram reduzidas drasticamente na safra com estresse (FIGURA 6D, E e F). Comportamentos decrescentes também foram observados tanto para os clones tolerantes quanto para os sensíveis nesta safra (FIGURA 8A, C e E).

As características que avaliam as eficiências dos processos fisiológicos são importantes de serem estudadas, pois permitem outras perspectivas de análise dos resultados quando se observa os efeitos do estresse abiótico, e normalmente são pouco utilizadas nos trabalhos. Além disso, são pontos fundamentais que devem estar presentes em um genótipo tolerante em programas de melhoramento ao estresse por calor e demais estresses abióticos, pois a eficiência de uso dos recursos disponíveis, de fixação de carbono por unidade de água utilizada pela planta, entre outros caracteres, que cada vez mais devem ser explorados pelos pesquisadores para melhoria do potencial biótico das culturas (FRITSCHÉ-NETO; BORÉM, 2011; GEORGE et al., 2018; MEDRANO et al., 2015; TAIZ et al., 2017).

A eficiência de carboxilação, por exemplo, é dada pela razão entre a taxa fotossintética e concentração intercelular de carbono. Nas condições de estresse, além da diminuição da fotossíntese, tem-se também um desbalanço entre esse processo e a respiração, aumentando a quantidade de carbono. Além disso, esse carbono, quando em estresse mais severo, não é consumido pelo processo fotossintético que entra em declínio (FIGURA 6A e 7A). Tal situação condiz com o que fora observado em experimento realizado por Timlin et al. (2006) com a cultivar Atlantic, no qual foi observado que, sob temperaturas elevadas, as plantas acumulam carbono, mas não particionam para os tubérculos, podendo até ocorrer sob determinadas temperaturas balanço negativo do mesmo, principalmente no final do ciclo vegetativo, como observado a partir dos 70 DAP (FIGURA 8A, C e E).

Com base na análise de correlação, os caracteres de respostas fisiológicas avaliados por Demirel et al., (2017), em condições ambientais sem estresse foram significativa e positivamente associados à produtividade de tubérculos em condições de altas temperaturas com correlações de 0,77; 0,63 e 0,67 para fotossíntese, condutância estomática e taxa de

transpiração. Segundo os autores, os resultados confirmam que genótipos de batata com maior taxa fotossintética, condutância estomática e taxa de transpiração em condições sem estresse de cultivo apresentaram melhor rendimento sob condições de elevadas temperaturas, e que esses caracteres podem ser promissores na identificação de genótipos de batata em condições sem estresse de calor.

No presente trabalho, a taxa fotossintética, no ambiente sem estresse, foi positivamente e significativamente correlacionada com a produtividade total, produtividade de tubérculos graúdos e o número de tubérculos graúdos na safra com estresse (TABELA 12). Além disso, as eficiências do uso da água e intrínseca do uso da água também apresentaram correlações significativas com o número de tubérculos graúdos.

O índice de suscetibilidade não apresentou correlações significativas com as trocas gasosas, enquanto que para o índice de tolerância foram observados resultados significativos. Estas respostas também foram constatadas por Demirel et al. (2017), que avaliaram estes dois índices. Porém, para os autores, elevadas correlações foram observadas entre o índice de tolerância e as trocas gasosas, não somente com as taxas fotossintéticas, mas também com a condutância estomática e transpiração no ambiente sem estresse de calor.

O uso de caracteres fisiológicos na identificação de clones tolerantes é pouco utilizado, pois em muitos casos não são observadas boas associações destes caracteres e a produção em condições de campo, o que implica em uso reduzido em programas de melhoramento. Em plantios de experimentos em campo, esses caracteres apresentam grande variação ambiental, além do considerável efeito da interação genótipos x ambientes e as muitas modificações na expressão desses caracteres no decorrer dos estádios de desenvolvimento da planta (RASMUSSEN, 1987).

6 CONCLUSÕES

Em geral, as elevadas temperaturas reduziram, especialmente, a produtividade e o número de tubérculos graúdos, e aumentaram drasticamente a percentagem de desordens fisiológicas. Os clones de batata apresentaram desempenho superior às testemunhas avaliadas.

O índice de seleção e de tolerância foram eficientes em identificar os genótipos tolerantes e apresentaram alta coincidência dos resultados com os observados na análise gráfica por meio das médias dos ambientes.

As trocas gasosas foram bons indicadores dos efeitos prejudiciais do estresse de calor nas plantas por meio de seus mecanismos fisiológicos de resposta. Sob condições de estresse, estas variáveis indicaram grande redução na eficiência do uso dos recursos como a água. Também apresentaram indicação do comportamento distinto entre genótipos tolerantes e sensíveis em relação ao calor, principalmente observado a partir do final do ciclo da cultura.

A taxa fotossintética e a eficiência intrínseca do uso da água foram os caracteres que mais apresentaram correlações significativas com os caracteres agronômicos na safra com estresse e sem estresse de calor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AIEN, A. et al. Photosynthetic characteristics of potato cultivars grown under high temperature. **American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Science**, v.11, p.633-639, 2011.
- AVOLA, G. et al. Gas exchange and photosynthetic water use efficiency in response to light, CO₂ concentration and temperature in *Vicia faba*. **Journal of Plant Physiology**, v.165, p.796–804, 2008.
- BASU, P. S.; MINHAS, J. S. Heat tolerance and assimilate transport in different potato genotypes. **Journal of Experimental Botany**, Cambridge, v.42, n.240, p.861-866, 1991.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: Funep, 1988. 42 p.
- BENITES, F. R. G.; PINTO, C. A. B. P. Genetic gains for heat tolerance in potato in three cycles of recurrent selection. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 11, p. 133-140, 2011.
- BURTON, W.G. Challenge for Stress Physiology in Potato. **Am. Pot. J.**, v.58, p.3–14, 1981.
- CARVALHO, R. P. **Seleção assistida por marcadores de clones de batata com os alelos de resistência aos vírus plrv, pvv e pvx**. 2019. 58 f. Dissertação (Mestrado) - Genética e Melhoramento de Plantas, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.
- CENTRO INTERNACIONAL DE LA PAPA. CIP. 2011. Disponível em: <<http://cipotato.org/es/reportes-anauales/>>. Acesso em: 09 de dezembro de 2017.
- CHAVES, M. M. et al. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, London, v.103, p.551-560, 2009.
- CRAFTS-BRANDER, C.; SALVUCCI, M. E. Sensitivity to photosynthesis in the C₄ plant, maize to heat stress. **Plant Cell**, v.12, p.54–68, 2002.
- CRAWFORD, A. J. et al. High temperature exposure increases plant cooling capacity. **Current Biology**, v. 22, n. 10, p. 396-397, 2012.
- DANTAS, A. A. A. et al. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, 2007.
- DELEO, J. P. B.; CARDOSO, F. **Especial batata: Gestão sustentável**. Hortifruti Brasil, 2014.
- DEMIREL, U. et al. Assessment of morphophysiological traits for selection of heat tolerant potato genotypes. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**. v.41, p.218-232, 2017.
- FAO-FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. (Roma, Itália). **FAOSTAT: Crops**. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>>. Acesso em: 20 jun. 2019.

FAO. **WORLD FOOD AND AGRICULTURE – STATISTICAL POCKETBOOK 2018**. Rome, 254 p., 2018. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.

FENG, B. et al. Effect of Heat Stress on the Photosynthetic Characteristics in Flag Leaves at the Grain-Filling Stage of Different Heat-Resistant Winter Wheat Varieties. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.200, p.143-155, 2014.

FENG, L. et al. Overexpression of SBPase enhances photosynthesis against high temperature stress in transgenic rice plants. **Plant Cell Rep.**, v. 26, p. 1635-1646, 2007.

FERNANDES, C. C. F. **Seleção de genitores e de clones de batata para a indústria de chips**. 2018. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Genética e Melhoramento de Plantas, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018a.

FERNANDES, M. O. **Capacidade de combinação e seleção de clones de batata visando resistência à podridão mole**. 2018. 55 f. Dissertação (Mestrado) - Genética e Melhoramento de Plantas, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018b.

FERNANDEZ, G. C. J. **Effective selection criteria for assessing stress tolerance**. In: Proceedings of the International Symposium on Adaptation of Vegetables and Other Food Crops in Temperature and Water Stress, Taiwan, p. 257-270, 1992.

FIGUEIREDO, I. C. R. et al. Efficiency of selection in early generations of potato families with a view toward heat tolerance. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 15, p. 210-217, 2015.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2 ed. Viçosa: UFV, 421 p., 2003.

FISCHER, R. A.; MAURER, R. Drought resistance in spring wheat cultivars. Part 1: Grain yield response. **Aust. J. Agric. Res.**, v.29, p. 897- 912, 1978.

FONTES, P. C. R; FINGER, F. L. Dormência dos tubérculos, crescimento da parte aérea e tuberização da batateira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 197, p. 24-29, 1999.

FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. **Melhoramento de plantas para condições de estresses abióticos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 250p., 2011.

GADUM, J. et al. Desempenho agrônômico e reação de clones de batata (*Solanum tuberosum* L.) ao PVY. **Ciência e Agrotecnologia**, v.27, p.1484-1492, 2003.

GEORGE, T. S. et al. Climate Change and Consequences for Potato Production: a Review of Tolerance to Emerging Abiotic Stress. **Potato Research**, v. 60, p. 239-268, 2018.

GOVINDARAJ, M. et al. Breeding Cultivars for Heat Stress Tolerance in Staple Food Crops. In: ÇİFTÇİ, Y. O. (Ed.) **Next Generation Plant Breeding**. Londres: IntechOpen, cap.3, p.45-74, 2018.

GUEDES, M. L. G. **Comportamento agrônômico e morfofisiológico de genótipos de batata em resposta ao calor**. 2018. 91 f. Tese (Doutorado) - Genética e Melhoramento de Plantas, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.

GUPTA, N. K. et al. Effect of short-term heat stress on growth, physiology and antioxidative defense system in wheat seedlings. **Acta Physiol. Plant.**, v.35, p.1837–1842, 2013.

HAMMES, P. S.; DE JAGER, J. A. Net photosynthetic rate of potato at high temperature. **Potato Res.**, v.33, p.515-520, 1990.

HANCOCK, R. D. et al. Physiological, biochemical and molecular responses of the potato (*Solanum tuberosum* L.) plant to moderately elevated temperature. **Plant Cell and Environment**, v.37, n.2, p.439-450, 2014.

HASANUZZAMAN, M. et al. Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. **International Journal of Molecular Sciences**, Basel, v. 14, p. 9643-9684, 2013.

HAVERKORT, A. J.; VERHAGEN, A. Climate change and its repercussions for the potato supply chain. **Potato Res.**, v.51, p.223–237, 2008.

HAYNES, K. G; HAYNES, F. L. Stability of high specific gravity genotypes of potatoes under high temperatures. **American Potato Journal**, Orono, v. 60, n. 1, p. 17-26, 1983.

HEMANTARANJAN, A. et al. Heat Stress Responses and Thermotolerance. **Adv. Plants Agric. Res.**, v.1, n.3, 10p., 2014.

HIJMANS, R. J. The effect of climate change on global potato production. **Am. J. Potato Res.** v.80, n.4, p.271-279, 2003.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro, p.1-97, maio, 2019. Disponível em:<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2415/epag_2019_maio.pdf >. Acesso em 20 jun. 2019.

IPCC. In: FIELD, C. B. et al. (Eds.) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability**. Cambridge University Press, 2014.

KAUSHAL, N. et al. Heat-stress-induced reproductive failures in chickpea (*Cicer arietinum*) are associated with impaired sucrose metabolism in leaves and anthers. **Functional Plant Biology**, v. 40, n. 12, p. 1334-1349, 2013.

KIM, Y. U.; LEE, B. W. Effect of High Temperature, Daylength, and Reduced Solar Radiation on Potato Growth and Yield. **Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology**, v. 18, n. 2, p. 74-87, 2016.

KIRIGWI, F. M. et al. Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. **Euphytica**, v. 135, n. 3, p. 361-371, 2004.

KU, S. B.; EDWARDS, G. E.; TANNER, C. B. Effects of light, carbon dioxide, and temperature on photosynthesis, oxygen inhibition of photosynthesis, and transpiration in *Solanum tuberosum*. **Plant physiology**, v. 59, n. 5, p. 868-872, 1977.

LAMBERT, E. S. et al. Potato improvement for tropical conditions: I. Analysis of stability. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 6, p. 129-135, 2006a.

LAMBERT, E. S. et al. Potato improvement for tropical conditions: II. Selection indices and efficiency of indirect selection. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 6, p. 185-193, 2006b.

LEHMAN, V. G.; ENGELKE, M. C. Heritability of creeping bentgrass shoot water content under soil dehydration and elevated temperatures. **Crop Science**, v. 33, p. 1061-1066, 1993.

LEVY, D.; VEILLEUX, R. E. Adaptation of potato to high temperatures and salinity: a review. **American Potato Journal**, Orono, v. 84, n. 6, p. 487-506, 2007.

LIZANA, X. C. et al. Field responses of potato to increased temperature during tuber bulking: Projection for climate change scenarios, at high-yield environments of Southern Chile. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 239, p. 192-201, 2017.

LYRA, D. H. et al. Início da tuberação, duração do ciclo vegetativo e tolerância ao calor em genótipos de batata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.50, n.7, p.582-592, 2015.

MAESTRI, E. et al. Molecular genetics of heat tolerance and heat shock proteins in cereals. **Plant Mol. Biol.** 48, p.667–681, 2002.

MEDRANO, H. et al. From leaf to whole-plant water use efficiency (WUE) in complex canopies: Limitations of leaf WUE as a selection target. **The Crop Journal**, v. 3, n. 3, p. 220-228, 2015.

MENEZES, C. B. et al. Avaliação de genótipos de batata (*Solanum tuberosum* L.) nas safras das águas e inverno no sul de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 4, p. 777-784, 1999.

MENEZES, C. B. et al. Combining ability of potato genotypes for cool and warm seasons in Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 1, n. 2, p. 145-157, 2001.

MINHAS, J. S. et al. Selection of heat tolerant potato genotypes and their performance under heat stress. **J. Indian Potato Assoc.**, v.28, p.132-134, 2001.

MINHAS, J. S. et al. Kufri Surya: A new heat-tolerant potato variety suitable for early planting in North-western plains, peninsular India and processing into french fries and chips. **Potato Journal**, v.33, p.35-43, 2006.

MORALES, D. et al. High-temperature preconditioning and thermal shock imposition affects water relations, gas exchange and root hydraulic conductivity in tomato. **Biol. Plant.**, v.47, p.203–208, 2003.

- OGWENO, J. O. et al. Brassinosteroids Alleviate Heat-Induced Inhibition of Photosynthesis by Increasing Carboxylation Efficiency and Enhancing Antioxidant Systems in *Lycopersicon esculentum*. **J. Plant. Growth Regul.**, v. 27, p. 49-57, 2008.
- PARENTONI, S. N. et al. Melhoramento para tolerância ao alumínio como fator de adaptação a solos ácidos. In: NASS, L. L. et al. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001, p. 783-852.
- PINTO, C. A. B. P. Melhoramento genético da batata. **Informe Agropecuário**, v. 20, n. 197, p. 120-128, 1999.
- PINTO, C.A.B.P. et al. Potencial de clones elite de batata como novas cultivares para Minas Gerais. **Horticultura Brasileira**, v.28, n.4, p.399-405, 2010.
- RAO, M. P. Et al. Morphological traits associated with heat tolerance in potato. **Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.**, v.7, n.12, p. 1304-1314, 2018.
- RASMUSSEN, D. C. An evaluation of ideotype breeding. **Crop Science**, Madison, v. 27, n. 6, p. 1140-1146, 1987.
- RAYMUNDO, R. et al. Virtual potato crop modeling: A comparison of genetic coefficients of the DSSAT-SUBSTOR potato model with breeding goals for developing countries. **Zenodo**, 2014.
- R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2017. URL: <https://www.R-project.org/>.
- RESENDE, M.; DUARTE, J. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182–194, 2007.
- RIBEIRO, G. H. M. R. et al. Seleção de famílias para aparência dos tubérculos e tolerância a temperaturas elevadas em batata. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 4, p. 390-398, 2014.
- RYKACZEWSKA, K. The effect of high temperature occurring in subsequent stages of plant development on potato yield and tuber physiological defects. **American Journal of Potato Research**, v.92, n.3, p.339-349, 2015.
- SAVIĆ, J. et al. Expression of small heat shock proteins and heat tolerance in potato (*Solanum tuberosum* L.). **Arch. Biol. Sci.**, Belgrade, v.64, n.1, p.135-144, 2012.
- SCHIPPERS, P. The relationship between specific gravity and percentage of dry matter in potato tubers. **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 53, p. 111-122, 1976.
- SEGINER, I. Transpirational cooling of a greenhouse crop with partial ground cover. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 71, p. 265-281, 1994.
- SOUZA, M. A. et al. 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, cap.9, p.199-226, 2011.

- STRUIK, P. C. Responses of the potato plant to temperature. In: **Plant Biology and Biotechnology: Advances and Perspectives**, p. 367-393. Elsevier, Amsterdam, 2007.
- SUSNOSCHI, M. et al. Arma: a potato cultivar resistant to heat stress. **Am. Potato J.**, v.64, p.191-196, 1987.
- TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6.ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.
- TANG, R. et al. Physiological and growth responses of potato cultivars to heat stress. **Botany**, v. 96, p. 897-912, 2018.
- TAN, W. et al. Photosynthesis is improved by exogenous calcium in heat-stressed tobacco plants. **Journal of Plant Physiology**, v. 168, n. 17, p. 2063-2071, 2011.
- TEIXEIRA, A. et al. Evaluation of potato clones for heat tolerance in the southern region of Minas Gerais State, Brazil. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.10, n.2, p.171-177, 2015.
- TIMLIN, D. et al. Whole plant photosynthesis, development, and carbon partitioning in potato as a function of temperature. **Agronomy Journal**, v.98, p.1195-1203, 2006.
- TORRES, A. J. P. **Avanços no programa de melhoramento de batata da UFPA visando tolerância ao calor**. 2016. 70 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.
- VEGH, B. et al. Heat acclimation of photosynthesis in wheat genotypes of different origin. **South African Journal of Botany**, n. 117, p. 184-192, 2018.
- VEILLEUX, R. E. et al. Potato germplasm development for warm climates: genotypic enhancement of tolerance to heat stress. **Euphytica**, v.98, p.83-92, 1997.
- WAHID, A. et al. Heat tolerance in plants: An overview. **Environmental and Experimental Botany**, Amsterdam, v.61, n.3, p.199-223, 2007.
- WAHID, A. Physiological implications of metabolite biosynthesis for net assimilation and heat-stress tolerance of sugarcane (*Saccharum officinarum*) sprouts. **Journal of Plant Research**, v. 120, p. 219-228, 2007.
- WANG, G. P. et al. Overaccumulation of glycine betaine enhances tolerance to drought and heat stress in wheat leaves in the protection of photosynthesis. **Photosynthetica**, v.48, n.1, p. 117-126, 2010.
- WOLF, S. et al. Effects of temperature and photoperiod on assimilate partitioning in potato plants. **Annals of Botany**, New York, v. 66, n. 5, p. 513-520, 1990.