

POTENCIAL DE UTILIZAÇÃO DE CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E FISIOLÓGICAS NA SELEÇÃO DE PROGÊNIES DE CAFEIEIRO

Dalyse Toledo Castanheira¹, Tiago Teruel Rezende², Danielle Pereira Baliza³,
Janine Magalhães Guedes⁴, Samuel Pereira Carvalho⁵, Rubens José Guimarães⁶,
Mariana Thereza Rodrigues Viana⁷

(Recebido: 15 de outubro de 2015; aceito: 04 de abril de 2016)

RESUMO: Objetivou-se avaliar o potencial do uso de características anatômicas e fisiológicas, na seleção de progênies de cafeeiro tolerantes ao estresse hídrico. Para as avaliações anatômicas e fisiológicas foram amostradas vinte progênies oriundas de três tipos de grupos de procedências, da população do experimento instalado na UFLA. O delineamento foi inteiramente casualizado, com dois períodos de avaliação. As progênies estudadas apresentam variabilidade genética, tendo sido verificada divergência entre elas. Em geral, a variância genética das progênies é maior no período de seca, indicando que há maior variabilidade entre as progênies, nesse período. Características anatômicas e fisiológicas mostraram-se eficientes como uma tecnologia, para auxiliar a seleção de progênies de cafeeiro.

Termos para indexação: Melhoramento genético, Anatomia foliar, fisiologia.

POTENTIAL USE OF ANATOMICAL AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS IN THE SELECTION OF COFFEE PROGENIES

ABSTRACT: The objective was to evaluate the potential use of morphological and physiological characteristics in the selection of coffee progenies. For the anatomical and physiological, were sampled twenty progenies coming from the three types of origins groups of experimental population installed in UFLA. The design was completely randomized with two evaluation periods. The progenies have studied genetic variability has been a divergence between them. In general, for the thickening of the leaf tissue the genetic variation of the progenies is higher in the dry season, indicated that there is greater variability among the families in that period. There is potential for the use of morphological and physiological characteristics as a tool in the selection of coffee progenies tolerant water stress.

Index terms: Genetic improvement, leaf anatomy, physiology.

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura possui grande importância econômico-social no Brasil, que há mais de 150 anos tem sido o maior produtor e exportador mundial de café (BALIZA et al., 2013). Os programas de melhoramento genético têm proporcionado expressivas mudanças na cafeicultura e contribuído, significativamente, para os avanços da atividade, permitindo ao Brasil ocupar posição de destaque, no que se refere à produção de café no cenário mundial (COSTA et al., 2013; FREITAS et al., 2007).

Atualmente, novos esforços são exigidos dos programas de melhoramento genético do cafeeiro, visto que a cafeicultura atual passa por grandes desafios frente às mudanças climáticas (ASSAD et al., 2004) e às exigências dos consumidores por produtos de melhor qualidade

(CALVETE et al., 2008; DORR; MARQUES, 2006). Deve-se considerar que pesquisas na área de melhoramento genético do cafeeiro demandam longo prazo, sendo que o método usual de propagação das cultivares de *Coffea arabica* L. por sementes exige, pelo menos, 24 anos de trabalho contínuo para o lançamento de uma nova cultivar (PEREIRA et al., 2002).

Neste cenário, é de suma importância a utilização de tecnologias que visam a obtenção, em menor tempo, de cultivares superiores com alto potencial produtivo, portadoras de alelos que confirmam resistência à pragas e doenças e com características de adaptação a diferentes condições ambientais. A seleção assistida por estudos da anatomia e da fisiologia vegetal tem se destacado como um importante meio para aperfeiçoar os trabalhos dos programas de melhoramento genético (BATISTA et al., 2010). Variações na

^{1,2,4,5,6,7} Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Agricultura/DAG - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG
dalysecastanheira@hotmail.com, tiagoter@gmail.com, janine_guedes@yahoo.com.br, rubensjg@dag.ufla.br, samuelpc@dag.ufla.br,
marianatr@gmail.com

³Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais/IF Sudeste MG - Departamento de Ensino - Núcleo de Agricultura e Meio Ambiente - Rua da Independência, 30 - Bairro Aparecida 37.220-000 - Bom Sucesso - MG - danielle.baliza@ifsudestemg.edu.br

anatomia vegetal podem indicar características que atribuem tolerância às diferentes condições de cultivo, como tolerância à seca (BATISTA et al., 2010; GRISI et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2014) e aos patógenos (SILVA; ALQUINI; CAVALLET, 2005).

Para o cafeeiro, existem estudos que associam as modificações nas estruturas anatômicas, com suas respectivas funções (BALIZA et al., 2012; BATISTA et al., 2010; GOMES et al., 2008; NASCIMENTO et al., 2006), contudo, são necessários mais estudos que verifiquem a possibilidade de utilizar essas características anatômicas e fisiológicas em conjunto com o melhoramento convencional, com o intuito de oferecer, em um menor tempo, respostas às principais limitações enfrentadas pelos programas de melhoramento genético do cafeeiro. Assim, objetivou-se, no presente trabalho, avaliar o potencial do uso de características anatômicas e fisiológicas na seleção de progênies de cafeeiro tolerantes ao estresse hídrico.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Em uma propriedade agrícola no município de Capitólio – MG foi identificada uma única planta de café, que possivelmente sofreu algum tipo de mutação, com frutos e folhas maiores daqueles apresentados pelas demais plantas, e com produtividade semelhante as demais cultivares comerciais. Por algumas gerações, selecionaram-se plantas superiores da descendência dessa única planta, obtendo três grupos de plantas com diferentes tamanhos dos frutos e folhas, denominados de grupo G (folhas e frutos excepcionalmente grandes), grupo M (folhas e frutos muito maiores que as cultivares comerciais existentes) e grupo P (folhas e frutos maiores que as cultivares comerciais existentes).

Foram coletadas sementes de 100 plantas representativas das progênies da propriedade agrícola e levadas para implantação do campo experimental na Universidade Federal de Lavras (UFLA), onde uma equipe de professores/pesquisadores iniciou o programa de melhoramento genético, em 2012.

Para a realização deste trabalho foram amostradas vinte progênies oriundas dos três tipos de grupos de procedências da população do experimento instalado na UFLA. Na Tabela 1, são apresentadas as descrições das progênies amostradas para a avaliação da estrutura interna de folhas e para as análises fisiológicas, sendo 6

progênies da procedência “P”, 8 da procedência “M” e 6 da procedência “G”. Cada progênie foi representada por 3 plantas (repetições). As avaliações foram realizadas no ano agrícola 2013/2014, em dois períodos: período 1 - agosto de 2013, considerado como um período de seca; período 2 - março de 2014, considerado como um período de chuva.

Para as análises estatísticas foi considerado o delineamento inteiramente casualizado, com dois períodos de avaliação. O delineamento foi esquematizado considerando-se as condições laboratoriais, não seguindo o esquema instalado em campo. As plantas usadas para este trabalho foram amostradas, aleatoriamente, da população do campo.

Para os estudos anatômicos foram coletadas três folhas (uma de cada planta) completamente expandidas, localizadas no terceiro nó de ramos plagiotrópicos, do terço médio das plantas, para cada progênie apresentada na Tabela 1, sendo que cada folha/planta foi considerada como uma repetição. As folhas, assim que coletadas, foram fixadas em F.A.A. 70 (JOHANSEN, 1940), por 72 horas e, posteriormente, conservadas em etanol 70% (v v⁻¹). As análises foram realizadas no Laboratório de Anatomia Vegetal do Café, na UFLA.

As secções transversais foram obtidas em micrótomo de mesa, tipo LPC e as secções paradérmicas, à mão livre com uso de lâmina de aço, sendo submetidas à clarificação com hipoclorito de sódio (1,25% de cloro ativo), tríplice lavagem em água destilada, coloração com solução safrablau (azul de astra 0,1% e safranina 1% na proporção de 7:3), para as secções transversais, e safranina 1% para as secções paradérmicas, sendo posteriormente montadas em lâminas semipermanentes com glicerol 50% (v v⁻¹) (KRAUS; ARDUIN, 1997).

Para a caracterização dos estômatos, foram avaliados: número de estômatos (NE); número de células epidérmicas (NCE); diâmetro polar dos estômatos (DPE); diâmetro equatorial dos estômatos (DEE). Sendo calculados: densidade estomática - DEN - (número de estômatos por mm²) e funcionalidade estomática - FUN - (considerada como a relação diâmetro polar/diâmetro equatorial dos estômatos) segundo Castro, Pereira e Paiva (2009).

TABELA 1 - Relação das progênies de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) utilizadas como tratamentos e suas respectivas características, Lavras – MG, 2014.

Procedência	Progênie	Características
P	P6	
P	P10	
P	P13	Folhas e frutos acima do tamanho padrão*
P	P18	
P	P26	
P	P28	
M	M2	
M	M3	
M	M5	
M	M13	Folhas e frutos muito acima do tamanho padrão*
M	M15	
M	M16	
M	M18	
M	M33	
G	G11	
G	G12	
G	G14	Folhas e frutos excepcionalmente grandes
G	G21	
G	G25	
G	G27	

*O padrão para comparação das plantas dos grupos foi o ‘Acaia Cerrado MG 1474’, em virtude desta cultivar produzir elevada porcentagem de grãos de peneira alta (17 e acima) (FAZUOLI et al., 2008).

Para determinação da espessura dos tecidos foliares foram avaliadas: espessura da cutícula da face adaxial (CUT); espessura da epiderme da face adaxial (EAD); espessura do mesofilo (MES); espessura do parênquima paliçádico (PAL); e espessura do parênquima esponjoso (PES). Na avaliação dos feixes vasculares foram medidas: espessura da região do floema (FLO); diâmetro dos vasos do xilema (DVX); e número de vasos do xilema (NVX).

Para as análises fisiológicas foram utilizadas as mesmas folhas utilizadas nas análises anatômicas. Para a avaliação das trocas gasosas, utilizou-se um sistema portátil de análise de gases a infravermelho (IRGA LICOR – 6400XT). Avaliou-se a taxa fotossintética líquida (A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a condutância estomática (g_s - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), e a taxa transpiratória (E - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). As avaliações foram realizadas entre as 9 e 11 horas da manhã, sob luz artificial ($600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), utilizando sempre folhas completamente expandidas de ramos plagiotrópicos do terço

médio das plantas, localizadas no terceiro nó a partir do ápice do ramo.

A partir dos dados observados foi feita a estimação dos componentes de variância e a predição dos valores genotípicos (E-BLUPs), para os quais foram obtidos os intervalos de confiança, os quais permitem inferir se o efeito genotípico é igual ou diferente de zero. Com base nos valores genotípicos, foi feito o ordenamento das progênies, o qual possibilita a seleção das melhores progênies que apresentam valores genotípicos positivos e diferentes de zero.

As análises estatísticas foram realizadas por meio do software R versão 3.0.1 (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013), utilizando as funções *lmer* e *ranef* da biblioteca *lme4* (BATES et al., 2015) para a estimação e predição do modelo misto (pelo método da máxima verossimilhança restrita) e a função *dotplot* () da biblioteca *Lattice* (SARKAR, 2008), para a criação do gráfico dos efeitos genotípicos, com seus respectivos intervalos de confiança.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, observa-se que, para espessura da cutícula (CUT), a variância genotípica entre procedências foi maior no período 1, da seca, em relação ao período 2, das chuvas. Isso indica que, no período da seca, as procedências apresentaram maior diferença (variabilidade) entre si. Isso pode ter ocorrido em função da menor disponibilidade de água nesse período, ou seja, no período das chuvas, quando a disponibilidade de água não foi limitante, ocorreu menor variabilidade entre as procedências.

Pode-se observar também na Tabela 2 que ocorrem modificações nos tecidos foliares, em função das épocas do ano, o que demonstra que o cafeeiro apresenta plasticidade foliar, de acordo com as condições ambientais. Roças, Scarano e Barros (2001) observaram esse mesmo comportamento em estudo com angiospermas, onde verificaram que a medida que as plantas eram expostas a variações climáticas, como déficit hídrico e luz, ocorriam modificações nos tecidos foliares. O presente trabalho também corrobora Baliza et al. (2012), ao observarem que as estruturas anatômicas das folhas do cafeeiro e suas respectivas funções apresentam significativas plasticidade morfológica e anatômica, quando submetidas a diferentes níveis de radiação solar, adaptando-se conforme a quantidade de radiação.

Observando-se os valores genotípicos para a variável espessura da cutícula (Figura 1), nota-se uma superioridade das progênies P26, P13, M2, que apresentaram maiores valores genotípicos. Genótipos com maior potencial para tolerância a condições de estresse com alta radiação e déficit hídrico podem apresentar maior espessamento da cutícula (BATISTA et al., 2010; SOUZA et al., 2010), reduzindo a transpiração e aumentando a eficiência do uso da água.

Para a variável espessura da epiderme da face adaxial – EAD, observa-se que a variância genética entre procedências foi maior no período de chuva (Tabela 2). Em relação ao ordenamento das progênies (Figura 2), no período de seca verifica-se o ordenamento contrário do ocorrido no período chuvoso, onde a progênie P26 apresentou maior valor genotípico e a progênie P6 valor menor. Isso pode ter ocorrido devido à correlação entre as avaliações ao longo do tempo. Observa-se que os valores são diferentes para o período das chuvas (-1,5 a 1) e para o período da seca (-0,4 a 0,6), ou seja, o ordenamento foi exatamente o inverso, porém, os valores genotípicos observados nos dois períodos foram diferentes. As variações encontradas entre as progênies e entre os períodos

podem ser explicadas pelas condições ambientais que as plantas encontram no campo, sujeitas às diferenças na intensidade de radiação solar e às variações de água no solo.

A espessura da epiderme da face adaxial pode estar relacionada às condições hídricas ou às condições de intensidade de radiação (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009; SOUZA et al., 2007), atenuando a radiação incidente e reduzindo a taxa de transpiração. Dessa maneira, no período de seca, a progênie P26 pode apresentar maior tolerância às condições de estresse hídrico e alta intensidade luminosa, pois apresentou maior valor genotípico para espessura da cutícula, nos dois períodos (Figura 1), e para espessura da epiderme da face adaxial, no período de seca (Figura 2).

Para a variável espessura do parênquima paliçádico, PAL, assim como ocorreu para a variável CUT, observa-se que a variância genética entre procedências foi maior no período da seca, (Tabela 3), em relação ao período de chuva. A variância genética das progênies dentro de procedências também foi maior no período de seca, ocorrendo o mesmo ordenamento das progênies nos dois períodos (Figura 3). Assim como ocorreu para a CUT, o ordenamento das progênies para PAL foi o mesmo nos dois períodos (Figuras 1 e 3). Entretanto, para o PAL a progênie P6 foi a que apresentou maior valor genotípico, sendo a primeira no ordenamento (Figura 3).

A maior espessura do parênquima paliçádico está relacionada ao aumento significativo do volume do mesofilo por área foliar, o que pode influenciar nas trocas gasosas em condições de restrição hídrica e irradiação elevada (VOLTAN; FAHL; CARELLI, 1992). Segundo trabalhos desenvolvidos por esses autores, com *Coffea arabica*, há um decréscimo na espessura do parênquima paliçádico e esponjoso à medida que se diminui o nível de radiação. O parênquima paliçádico está relacionado com a taxa fotossintética, sendo que plantas com maior espessura desse tecido tendem a apresentar maior taxa fotossintética.

Para a variável espessura do parênquima esponjoso – PES, observa-se que a variância genética entre procedências foi maior no período da seca, em relação ao período das chuvas, assim como ocorreu para CUT e PAL (Tabela 2), indicando que, no período da seca, para as variáveis CUT, PAL e PES, as procedências apresentaram maior variabilidade entre si.

TABELA 2 - Estimativa dos parâmetros da variância genética entre progênies dentro de procedências ($\hat{\sigma}_{A/P}^2$), variância genética entre procedências ($\hat{\sigma}_P^2$) e variância residual ($\hat{\sigma}_r^2$), para as variáveis componentes da espessura dos tecidos foliares. Lavras, Minas Gerais, 2014.

Parâmetros	Período*	Estimativas				
		CUT	EAD	PAL	PES	MÊS
$\hat{\sigma}_{A/P}^2$	2	0,7114	0,7732	9,745	21,04	148,2
	1	0,0033	0,1511	19,229	278,60	347,1
$\hat{\sigma}_P^2$	2	0,0156	3,0344	6,311	30,44	619,1
$\hat{\sigma}_r^2$	1	0,6652	0,0747	448,849	197,79	459,6
		0,6689	2,3596	62,373	197,94	231,9

*Período 1: Período de seca; Período 2: Período de chuva.

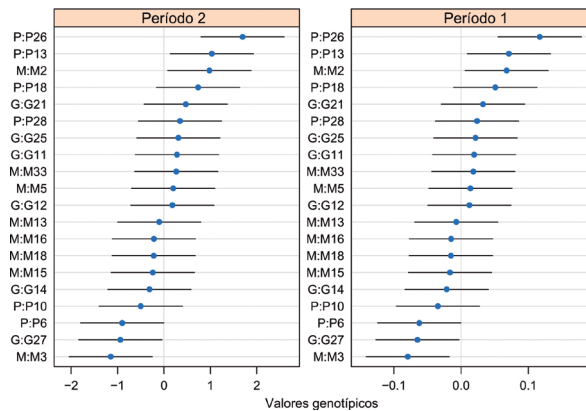


FIGURA 1 - Valores genéticos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies dentro de procedências para a variável espessura da cutícula, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado.

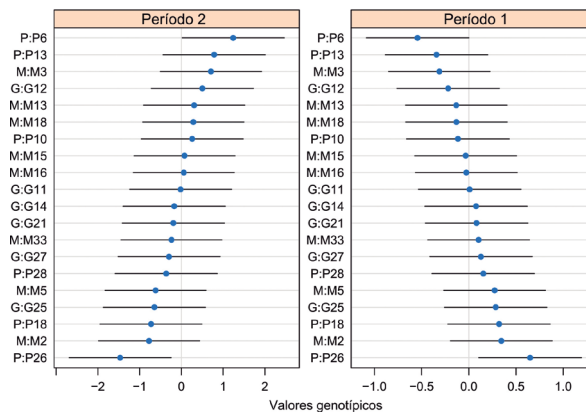


FIGURA 2 - Valores genéticos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies, dentro de procedências para a variável espessura da epiderme da face adaxial, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita, para o modelo ajustado.

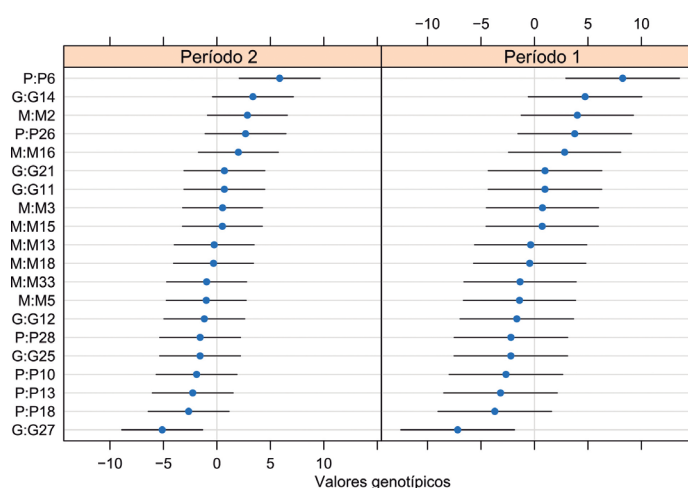


FIGURA 3 - Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies, dentro de procedências para a variável espessura do parênquima paliçádico, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado.

Observa-se na Figura 4, que não houve diferença dos valores genotípicos das progênies no período chuvoso para o parênquima esponjoso. Já no período seco, houve maior variabilidade, sendo que a progênie P6 apresentou maior valor genotípico, assim como para PAL, (Figura 3 e 4). A maior espessura do parênquima paliçádico pode favorecer o desempenho de plantas quando o fator limitante for CO_2 , uma vez que os espaços intercelulares formam o sistema de aeração da planta (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009) e estão ligados com o acúmulo de CO_2 , necessário à fotossíntese. O parênquima esponjoso é responsável pelo armazenamento de CO_2 ; dessa maneira a progênie P6, no período da seca, possivelmente apresenta uma maior eficiência no armazenamento desse gás, em relação às demais progênies.

Para a variável espessura do mesofilo, MES, a variância genética das progênies dentro de procedências foi maior no período de seca (Tabela 2). Isso pode ser observado também na Figura 5, onde no período de chuva a única progênie que apresentou valor genotípico diferente das demais foi a P6. Já no período de seca, onde houve uma maior variabilidade entre as progênies, as progênies P6, G11, M16 apresentaram maiores valores e as progênies G27, G25 e M2 apresentaram os menores valores.

Assim como ocorreu nas variáveis PAL e PES, para o MES a progênie P6 se destacou, apresentando maior valor genotípico (Figuras 3, 4 e 5). Também observa-se que a progênie

G27 apresentou menor valor genotípico nas variáveis PAL e MES, ficando em último lugar no ordenamento no período da seca (Figura 3 e 5).

As estimativas dos parâmetros genéticos para as variáveis relacionadas aos feixes vasculares são apresentadas na Tabela 3. Para a variável número de vasos do xilema – NXL, observa-se que a variância genética entre procedências e a variância genética das progênies dentro de procedências foram maiores no período das chuvas, (Tabela 3). Isso indica que, nesse período, as procedências e as progênies apresentaram uma maior variabilidade entre si. Tendo em vista que a função do xilema está relacionada ao transporte de água e nutrientes, a maior variabilidade observada entre as procedências e progênies pode ser justificada pela maior disponibilidade de água nesse período. Contudo, não foram detectadas diferenças entre as progênies no ordenamento para a variável número de vasos do xilema.

Para a variável diâmetro dos vasos do xilema – DXL, observa-se que a variância genética entre procedências e a variância genética das progênies dentro de procedências foram maiores no período de seca (Tabela 3).

Estes resultados indicam que as plantas apresentam maior variabilidade entre si, quando estão submetidas à condições de menor disponibilidade hídrica. Em relação ao ordenamento das progênies para DXL (Figura 6), verifica-se que, no período chuvoso, as progênies são semelhantes entre si, assim como foi observado na variável PES (Figura 4).

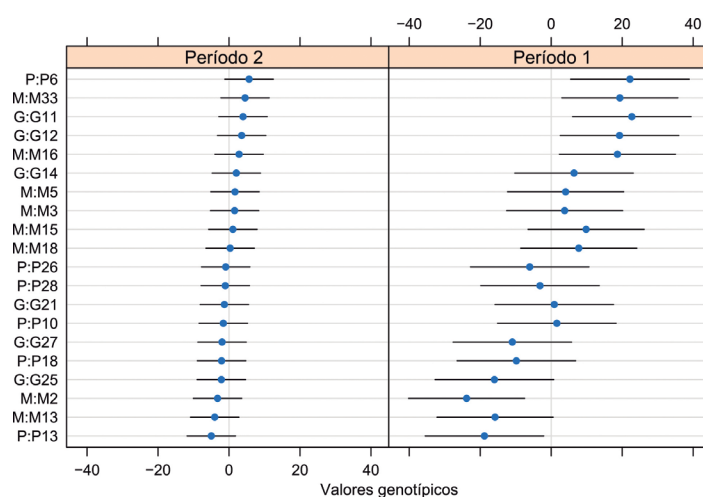


FIGURA 4 - Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênes, dentro de procedências para a variável espessura do parênquima esponjoso, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança, restrita para o modelo ajustado.

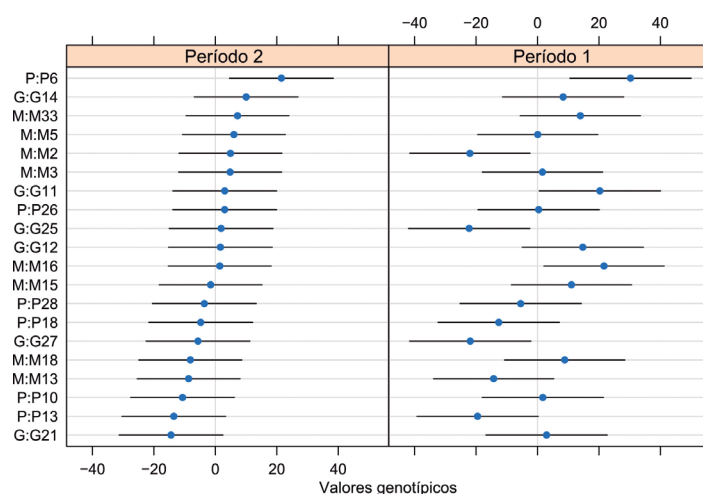


FIGURA 5 - Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênes, dentro de procedências para a variável espessura do mesofilo, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança, restrita para o modelo ajustado.

TABELA 3 - Estimativa dos parâmetros da variância genética entre progênes dentro de procedências ($\hat{\sigma}_{A/P}^2$), variância genética entre procedências ($\hat{\sigma}_P^2$) e variância residual ($\hat{\sigma}_r^2$) para os feixes vasculares. Lavras - MG, 2014.

Parâmetro	Período*	Valores		
		NXL	DXL	FLO
$\hat{\sigma}_{A/P}^2$	2	286,05	0,2190	64,544
	1	97,85	0,4331	3,797
$\hat{\sigma}_P^2$	2	236,24	0,3318	2,566
	1	21,97	0,6566	17,831
$\hat{\sigma}_r^2$		83,28	0,6768	

*Período 1: Período de seca; Período 2: Período de chuva.

No período de seca, houve maior variabilidade entre as progênies, sendo que a progênie M15 apresentou maior valor genotípico e a progênie M2 menor valor. Modificações no diâmetro e no número dos vasos do xilema podem representar uma forma de adaptação da planta, quando exposta às condições ambientais que afetam o transporte de seiva.

Para a variável espessura do floema – FLO, nota-se que não houve variabilidade entre os períodos para variância genética entre procedências. A variância genética das progênies dentro de procedências foi maior no período de chuva (Tabela 3), ocorrendo um ordenamento inverso das progênies nos períodos (Figura 7), comportamento também observado para EAD

(Figura 2). Verifica-se que, no período das chuvas, as progênies M5 e P26 apresentaram maiores valores genotípicos e as progênies M18, G12 e P13 menores valores. Já no período de seca, foi observado o ordenamento inverso (Figura 7).

Plantas com maior espessura do floema podem demonstrar maior potencial para a translocação de fotoassimilados, visto que o floema é um tecido especializado no transporte de fotoassimilados, que são componentes do metabolismo da planta (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Nesse sentido, as progênies M18, G12 e P13, em condições de seca, podem apresentar características que possibilitam maiores incrementos na produtividade.

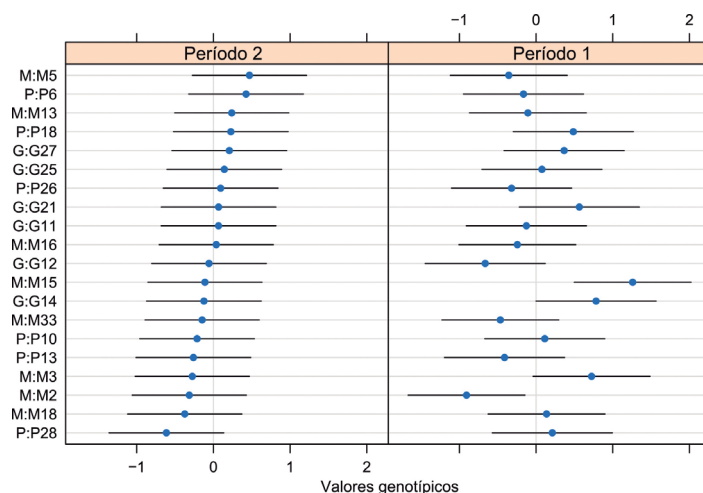


FIGURA 6 - Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies, dentro de procedências para a variável diâmetro dos vasos do xilema, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança, restrita para o modelo ajustado.

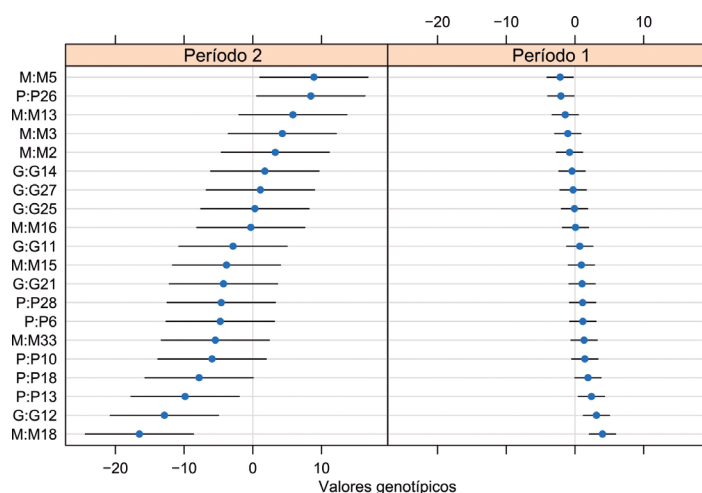


FIGURA 7 - Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies, dentro de procedências para a variável espessura do floema, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança, restrita para o modelo ajustado.

No entanto, no estudo da taxa fotossintética, característica relacionada à produtividade, não houve diferença entre o ordenamento das progênies, em ambos os períodos, sendo as progênies semelhantes entre si.

Para as variáveis densidade estomática - DEN e funcionalidade estomática - FUN, observa-se que a variância genética entre procedências foi maior no período de seca, e a variância genética das progênies dentro de procedências foi maior no período das chuvas, (Tabela 4). Para a variável densidade estomática - DEN, no ordenamento das progênies (Figura 8), observou-se um comportamento inverso de acordo com o período, sendo que, no período de seca, a progênie G21 apresentou maior valor e a G27 menor. O aumento da frequência estomática, em folhas expostas à elevada irradiância, pode ser um mecanismo importante de adaptação das espécies às condições mais áridas (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

Nesse sentido o maior desempenho da progênie G21 na seca (Figura 8) pode indicar melhor adaptabilidade dessa progênie às condições de baixa disponibilidade de água e maior intensidade de radiação.

Para a variável funcionalidade estomática - FUN, na Figura 9 verifica-se o mesmo ordenamento das progênies, nos dois períodos.

A progênie M3 apresentou maior valor genotípico e a progênie G27 o menor valor. Na variável DEN também foi observado o menor valor genotípico para a progênie G27. A maior funcionalidade estomática pode ser relacionada a uma menor transpiração da folha, pois os estômatos se tornam mais elípticos (BATISTA et al., 2010; SOUZA et al., 2010). Essa redução na transpiração pode ainda estar relacionada a uma maior densidade estomática, que é observada em condições de maior intensidade de radiação e de restrições hídricas (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

TABELA 4 - Estimativa dos parâmetros da variância genética entre progênies dentro de procedências, variância genética entre procedências e variância residual para a variável densidade estomática (DEN) e funcionalidade estomática (FUN). Lavras - MG, 2014.

Parâmetro	Período*	Estimativa	
		DEN	FUN
$\hat{\sigma}_{A/P}^2$	2	267,9725	0,00300
$\hat{\sigma}_P^2$	1	14,8224	0,00012
	2	0,3071	0,00012
$\hat{\sigma}_r^2$	1	209,5907	0,00025
		813,2747	0,01022

*Período 1: Período de seca; Período 2: Período de chuva.

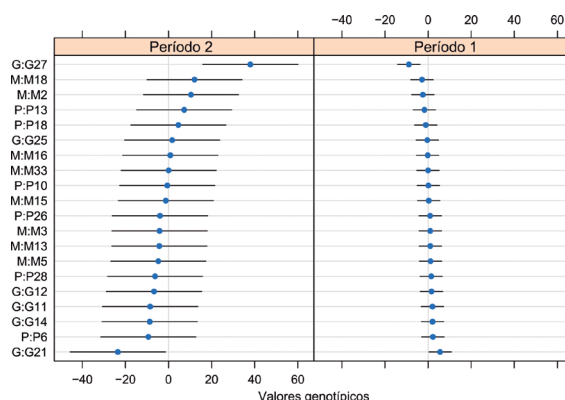


FIGURA 8 - Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies, dentro de procedências para a variável densidade estomática, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança, restrita para o modelo ajustado.

Para todas as variáveis fisiológicas: taxa fotossintética - A , condutância estomática - g_s e taxa transpiratória - E , observa-se que a variância genética entre procedências e a variância genética das progênies dentro de procedências foram maiores no período da seca, (Tabela 5), indicando que houve uma maior variabilidade entre as procedências e entre as progênies neste período. Também foi observado resultado similar para as variáveis PAL, PES e DXL (Tabelas 2 e 3). Nesse sentido, é possível observar que plantas cultivadas em condições adequadas, como alta disponibilidade hídrica, se comportam de maneira semelhante entre si. Porém, quando as condições deixam de ser adequadas (período seco) surge uma variabilidade, sendo assim possível identificar progênies que se adaptam melhor em condições ambientais desfavoráveis.

Para a variável taxa fotossintética, A , não houve diferença no ordenamento das progênies nos dois períodos, sendo as progênies semelhantes entre si. Resultado também observado no

ordenamento das progênies para NXL.

Para a variável condutância estomática, g_s , em relação ao ordenamento das progênies (Figura 10), a progênie M5 mostrou maior desempenho no período de seca. Resultado oposto ao apresentado para FLO, onde a progênie M5 se mostrou superior no período das chuvas e inferior no período da seca (Figura 7). A progênie M5 foi superior no período de seca, o que pode indicar uma maior condutância estomática em condições de restrição hídrica. Segundo Damatta (2004), no cafeeiro arábica a condutância estomática é considerada como o primeiro indicador de falta de água, diminuindo logo que um terço da água do solo é esgotada, de acordo com a duração do déficit hídrico.

Para a variável taxa transpiratória - E , verificou-se que, em ambos os períodos, as progênies foram similares entre si. Resultado também observado para NXL e A .

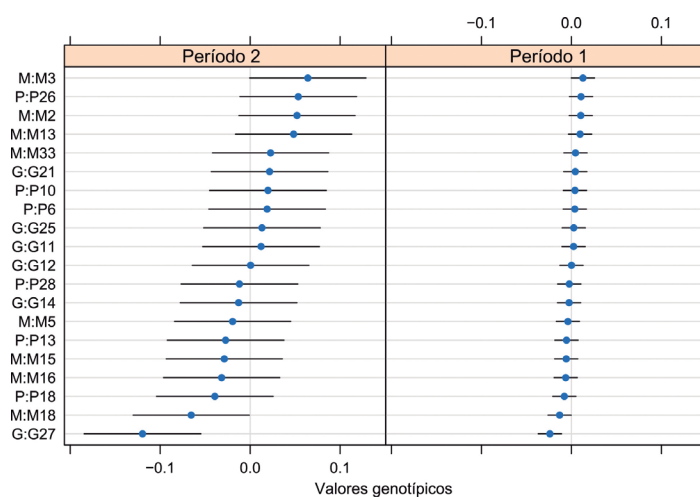


FIGURA 9 - Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies, dentro de procedências para a variável funcionalidade estomática, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança, restrita para o modelo ajustado.

TABELA 5 - Estimativa dos parâmetros da variância genética entre progênies dentro de procedências, variância genética entre procedências e variância residual para a variável potencial hídrico foliar (PH), taxa fotossintética (*A*), condutância estomática (*gs*) e taxa transpiratória (*E*). Lavras - MG, 2014.

Parâmetro	Período*	Estimativa		
		<i>A</i>	<i>gs</i>	<i>E</i>
$\hat{\sigma}_{A/P}^2$	2	29,39	0,0019	0,00
	1	59,77	0,0633	82,94
$\hat{\sigma}_P^2$	2	52,97	0,0050	141,26
	1	832,99	0,0166	197,80
$\hat{\sigma}_r^2$		837,88	0,3040	1010,24

*Período 1: Período de seca; Período 2: Período de chuva.

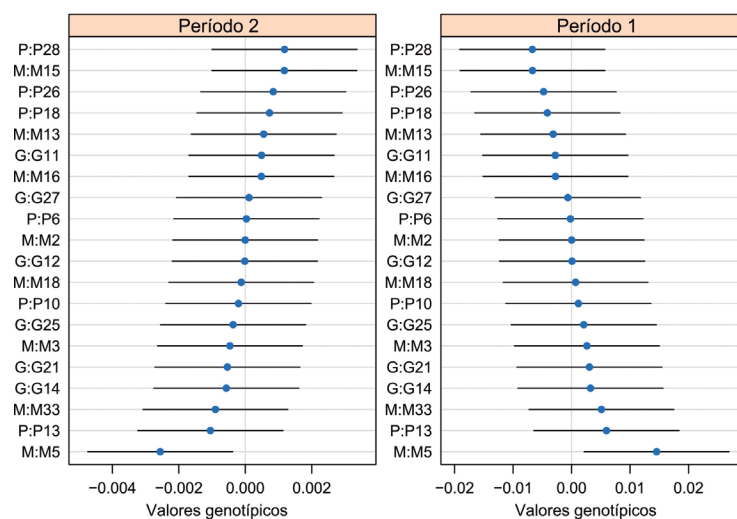


FIGURA 10 - Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies dentro de procedências para a variável condutância estomática, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança, restrita para o modelo ajustado.

4 CONCLUSÕES

A variância genética é maior no período de seca, indicando que há maior variabilidade entre as progênies, nesse período. Logo, a avaliação de cafeeiros com tolerância ao estresse hídrico, com base nas características anatômicas e fisiológicas, deve ser feita no período de seca.

5 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, pelo auxílio financeiro na condução dos experimentos e pela concessão da bolsa de estudo.

6 REFERÊNCIAS

ASSAD, E. D. et al. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil.

Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, nov. 2004.

BALIZA, D. P. et al. Antecipação da produção e desenvolvimento da lavoura cafeeira implantada com diferentes tipos de mudas. *Coffee Science*, Lavras, v. 8, n. 1, p. 61-68, jan./mar. 2013.

BALIZA, D. P. et al. Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. *Coffee Science*, Lavras, v. 7, n. 3, p. 250-258, set./dez. 2012.

BATES, D. et al. Fitting linear mixed-effects models using lme4. *Journal of Statistical Software*, Linz, v. 67, n. 1, 2015. Disponível em: <<http://www.jstatsoft.org/v67/i01/>>. Acesso em: 2 dez. 2015.

- BATISTA, L. A. et al. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 475-481, jul./set. 2010.
- CASTRO, E. M. de; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.
- CALVETE, E. O. et al. Fenologia, produção e teor de antocianinas de cultivares de morangueiro em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 396-401, jun. 2008.
- COSTA, J. C. et al. Comportamento agrônômico de progênies e cultivares de café com resistência específica à ferrugem. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 2, p. 183-191, abr./jun. 2013.
- DAMATTA, F. M. Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 16, n. 1, p. 1-6, jan./abr. 2004.
- DÖRR, A. C.; MARQUES, P. V. Exigências dos consumidores europeus em relação à maçã gaúcha, na visão dos exportadores. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v. 8, n. 1, p. 40-48, jan./mar. 2006.
- FAZUOLI, L. C. et al. Cultivares de café arábica de porte alto. In: CARVALHO, C. H. S. (Ed.). **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: EMBRAPA Café, 2008. cap. 10, p. 227-254.
- FREITAS, Z. M. T. S. et al. Avaliação de caracteres quantitativos relacionados com o crescimento vegetativo entre cultivares de café arábica de porte baixo. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 2, p. 267-275, 2007.
- GOMES, I. A. C. et al. Alterações morfofisiológicas em folhas de *Coffea arabica* L. cv. "Oeiras" sob influência do sombreamento por *Acacia mangium* Willd. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p. 109-115, jan./fev. 2008.
- GRISI, F. A. et al. Avaliações anatômicas foliares em mudas de café 'Catuai' e 'Siriema' submetidas ao estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1730-1736, nov./dez. 2008.
- JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw Hill, 1940. 523 p.
- KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: EDUR, 1997. 198 p.
- NASCIMENTO, E. A. do et al. Alterações morfofisiológicas em folhas de café (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 852-857, maio/jun. 2006.
- OLIVEIRA, N. K. et al. Anatomia foliar de cafeteiros implantados com o uso de polímero hidrorretentor. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 258-265, abr./jun. 2014.
- PEREIRA, A. B. et al. Enraizamento de estacas de *Coffea arabica* L. em diferentes substratos. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 4, p. 741-748, jul./ago. 2002.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2013. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 12 mar. 2013.
- ROÇAS, G.; SCARANO, F. R.; BARROS, C. F. Leaf anatomical variation in *Alchornea triplinervia* (Spreng) Mull.Agr.(Euphorbiaceae) under distinct light and soil water regimes. **Botanical Journal of Linnean Society**, London, v. 136, n. 2, p. 213-238, June 2001.
- SARKAR, D. **Lattice: multivariate data visualization with R**. New York: Springer-Verlag, 2008. 280 p.
- SILVA, L. M.; ALQUINI, Y.; CAVALLET, V. J. Inter-relações entre a anatomia vegetal e a produção vegetal. **Acta Botânica Brasilica**, Feira de Santana, v. 19, n. 1, p. 183-194, jan./mar. 2005.
- SOUZA, G. S. et al. Estrutura foliar e de cloroplastídeos em *Mikania laevigata* Shultz Bip. Ex Baker em diferentes condições de qualidade de luz. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, p. 78-80, jul. 2007. Suplemento 1.
- SOUZA, T. C. et al. Leaf plasticity in successive selection cycles of 'Saracura' maize in response to periodic soil flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 1, p. 16-24, jan. 2010.
- VOLTAN, R. B. Q.; FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C. Variação na anatomia foliar de café submetidos a diferentes intensidade luminosas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 99-105, 1992.