



**DALYSE TOLEDO CASTANHEIRA**

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

**LAVRAS - MG**

**2015**

**DALYSE TOLEDO CASTANHEIRA**

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

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Rubens José Guimarães

**LAVRAS - MG**

**2015**

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

Castanheira, Dalysse Toleto.

Potencial de utilização de características anatômicas e  
fisiológicas na seleção de progênies de cafeeiro / Dalysse Toleto  
Castanheira. – Lavras : UFLA, 2015.

74 p. : il.

Dissertação (mestrado acadêmico)–Universidade Federal  
de Lavras, 2015.

Orientador(a): Rubens José Guimarães.

Bibliografia.

1. Anatomia. 2. Fisiologia. 3. Café. 4. Melhoramento  
genético. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

**DALYSE TOLEDO CASTANHEIRA**

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

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 23 de fevereiro de 2015.

Dr. Samuel Pereira de Carvalho	UFLA
Dr. Itamar Ferreira de Souza	UFLA
Dra. Vânia Aparecida Silva	EPAMIG

Dr. Rubens José Guimarães  
Orientador

**LAVRAS - MG**

**2015**

Ao meu irmão, *Delson Delfino Toledo Castanheira*,  
pelo amor e por sempre me apoiar e acreditar em mim;  
A minha avó, *Acionir*, e meu tio, *Clésio*, pelo carinho e  
pelo exemplo de vida;  
Ao meu namorado, *Raphael*, pelo companheirismo,  
amor e amizade;  
A todos os meus amigos, em especial à *Camila* e à  
*Fernanda*, pelo incentivo e por estarem sempre ao meu  
lado.

Aos meus pais *Delson Castanheira* e  
*Cleia Avelar Machado Castanheira*, por  
sempre acreditarem em mim, por  
caminharem sempre ao meu lado e que,  
com amor, me ensinam a nunca desistir,

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

A Deus pelas graças concedidas e à Nossa Senhora Aparecida, pela proteção e bênçãos e por possibilitarem a realização deste sonho;

À Universidade Federal de Lavras, Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de realizar o mestrado;

Ao Prof. Rubens, pelo exemplo de pessoa e profissional a ser seguido, pela confiança, paciência, dedicação e pela constante busca em repassar seus conhecimentos que tanto contribuíram para minha formação profissional e pessoal;

À Profa. Danielle Baliza, e ao amigo Tiago Teruel, por estarem sempre me orientando e contribuindo muito para a minha formação profissional e pessoal;

Ao Prof. Samuel, Prof. Evaristo, Prof. Nazareno, e à Dra. Janine Guedes, pelos ensinamentos e pelas orientações na realização deste trabalho;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

A todas as amigas e colegas de trabalho do Laboratório de Anatomia Vegetal do Setor de Cafeicultura, pois sem elas eu não conseguiria realizar este trabalho.

Aos companheiros do NECAF, do GHPD e do Setor de Cafeicultura, Sérgio Brasil, Edson, Zé Maurício, Alexandre e Agrimar (*in memoriam*), pela ajuda e pelo companheirismo.

Obrigada.

## RESUMO

Um programa de melhoramento genético do cafeeiro visando a uma maior tolerância às diferentes condições ambientais está sendo desenvolvido na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Nesse programa estão sendo utilizadas progênies de cafeeiro que possuem os grãos de maior tamanho e peso que as das cultivares tradicionais. A seleção assistida por meio da anatomia e da fisiologia vegetal tem se destacado como uma importante técnica para otimizar os trabalhos dos programas de melhoramento genético, pois variações na anatomia vegetal podem indicar características que atribuem tolerâncias às diferentes condições de cultivo, como tolerância à seca e a patógenos. Objetivou-se avaliar o potencial do uso de características anatômicas e fisiológicas na seleção de progênies de cafeeiro. Para as avaliações anatômicas e fisiológicas foram amostradas vinte progênies oriundas dos três tipos de grupos de procedência 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 se mostraram eficientes como uma tecnologia para auxiliar a seleção de progênies de cafeeiro.

Palavras-chave: Melhoramento genético. Anatomia foliar. Fisiologia.

## **ABSTRACT**

A coffee breeding program aiming at a higher tolerance to different environmental conditions is being developed at the Universidade Federal de Lavras (UFLA). In this program, we are using coffee progenies that present larger and heavier grains than those of traditional cultivars. The selection assisted by plant anatomy and physiology has been highlighted as an important technique for optimizing works in breeding programs, since variations in plant anatomy can indicate traits that attribute tolerance to the different cultivating conditions, such as tolerance to draught and to pathogens. We aimed at evaluating the potential of using anatomic and physiological traits in the selection of coffee progenies. For the anatomical and physiological evaluations, we sampled twenty progenies originated from three types of population precedence groups of the experiment installed at UFLA. The design was completely randomized, with two evaluation periods. The progenies studied presented genetic variability, verifying divergence between them. In general, the genetic variance of the progenies is higher in the draught period, indicating that there is higher variability between progenies during this period. Anatomic and physiological traits are efficient as a technology to aid in selecting coffee progenies.

Keywords: Genetic improvement. Foliar anatomy. Physiology.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável cutícula, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado.....34
- Figura 2 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênes dentro de procedências para a variável cutícula, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado.....35
- Figura 3 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável espessura da epiderme da face adaxial, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado.....36
- Figura 4 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênes 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 .....37
- Figura 5 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável espessura do parênquima paliçádico, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado.....39
- Figura 6 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênes dentro de procedências para a variável espessura do parênquima paliçádico, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado .....40

Figura 7	Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável espessura do parênquima esponjoso, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado.....	41
Figura 8	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 .....	42
Figura 9	Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável espessura do mesofilo, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado.....	43
Figura 10	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.....	44
Figura 11	Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável número de vasos do xilema, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado.....	46
Figura 12	Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênes dentro de procedências para a variável número de vasos do xilema, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado.....	47
Figura 13	Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável diâmetro dos vasos do xilema, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado.....	48

Figura 14	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.....	49
Figura 15	Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável espessura do floema, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado.....	50
Figura 16	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.....	51
Figura 17	Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável densidade estomática, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado.....	53
Figura 18	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.....	54
Figura 19	Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável funcionalidade estomática, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado.....	55
Figura 20	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 .....	56

Figura 21	Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável potencial hídrico foliar, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado.....	58
Figura 22	Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênes dentro de procedências para a variável potencial hídrico foliar, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado.....	59
Figura 23	Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável taxa fotossintética, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado.....	60
Figura 24	Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênes dentro de procedências para a variável taxa fotossintética, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado.....	61
Figura 25	Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável condutância estomática, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado.....	62
Figura 26	Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênes dentro de procedências para a variável condutância estomática, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado.....	63
Figura 27	Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável taxa transpiratória, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado.....	64

- Figura 28 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies dentro de procedências para a variável taxa transpiratória, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado.....65
- Figura 29 Dendograma ilustrativo do agrupamento de 20 progênies de *C. arabica* L. pelo método de agrupamento de Ward, obtido a partir da distância generalizada de Mahalanobis, estimada com base em seis características fisiológicas .....67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Relação das progênies de cafeeiro ( <i>Coffea arabica</i> L.) utilizadas como tratamentos e suas respectivas características, Lavras – MG, 2014 .....	25
Tabela 2	Variáveis climatológicas durante o período de avaliação, no ano agrícola 2013/2014, Lavras – MG, 2014.....	26
Tabela 3	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 a variável espessura da cutícula (CUT), espessura da epiderme da face adaxial (EAD), espessura do parênquima paliçádico (PAL), espessura do parênquima esponjoso (PES) e espessura do mesofilo (MES) .....	33
Tabela 4	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 a variável número de vasos do xilema (NXL), diâmetro dos vasos do xilema (DXL) e espessura do floema (FLO).....	45
Tabela 5	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 a variável densidade estomática (DEN) e funcionalidade estomática (FUN)....	52

Tabela 6	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 a variável potencial hídrico foliar (PH), taxa fotossintética ( $A$ ), condutância estomática ( $g_s$ ) e taxa transpiratória ( $E$ ).....	57
----------	---	----

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	18
<b>2.1</b>	<b>Melhoramento genético do cafeeiro arábica</b> .....	18
<b>2.2</b>	<b>Anatomia e fisiologia vegetal como pré - melhoramento</b> .....	19
<b>2.3</b>	<b>Modelo misto no melhoramento de espécies perenes</b> .....	20
<b>2.4</b>	<b>Divergência genética</b> .....	22
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	24
<b>3.1</b>	<b>Delineamento experimental</b> .....	26
<b>3.2</b>	<b>Características avaliadas</b> .....	27
<b>3.2.1</b>	<b>Características anatômicas</b> .....	27
<b>3.2.2</b>	<b>Características fisiológicas</b> .....	28
<b>3.3</b>	<b>Análise dos dados</b> .....	29
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	32
<b>4.1</b>	<b>Ordenamento das progênies para características anatômicas</b> .....	32
<b>4.1.1</b>	<b>Espessura dos tecidos foliares</b> .....	32
<b>4.1.2</b>	<b>Feixes Vasculares</b> .....	45
<b>4.1.3</b>	<b>Caracterização estomática</b> .....	52
<b>4.2</b>	<b>Ordenamento das progênies para características fisiológicas</b> .....	57
<b>4.3</b>	<b>Divergência genética em relação a características anatômicas</b> .....	65
<b>4.4</b>	<b>Divergência genética em relação a características fisiológicas</b> .....	67
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	69

## 1 INTRODUÇÃO

A produção de café no Brasil é de significativa importância para a economia do país, sendo este o maior produtor e exportador de café do mundo. Os programas de melhoramento genético do cafeeiro têm proporcionado expressivas mudanças na cafeicultura e contribuído, significativamente, para os avanços da atividade no Brasil e em muitas outras regiões produtoras no mundo (CARVALHO, 2008).

Um programa de melhoramento genético do cafeeiro visando a uma maior tolerância às diferentes condições ambientais está sendo desenvolvido na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Neste programa estão sendo utilizadas progênies de cafeeiro que possuem os grãos com maior tamanho e peso que as cultivares tradicionais. Sabe-se que atualmente a demanda por grãos maiores tem sido grande, em função de determinados nichos de mercado, como os dos cafés expressos. Dessa forma, o lançamento de uma cultivar com grão de maior tamanho atenderia a essa demanda do mercado (POLO DE EXCELÊNCIA DO CAFÉ, 2011).

Também, novos esforços são exigidos dos programas de melhoramento genético do cafeeiro, visto que a cafeicultura atual passa por grandes desafios frente às mudanças climáticas e às exigências dos consumidores por produtos de melhor qualidade (ASSAD et al., 2004; CARVALHO, 2008).

Porém, a obtenção e a disponibilização de uma nova cultivar em culturas perenes como o café, demanda, contudo, um elevado nível de conhecimento em relação à espécie e às características que se deseja melhorar. Pesquisas na área de melhoramento genético do cafeeiro constituem-se em um trabalho de 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 à obtenção, em menor tempo, de cultivares superiores com alto potencial produtivo, portadoras de alelos que conferem resistência a 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 uma importante meio para otimizar os trabalhos dos programas de melhoramento genético (BATISTA et al., 2010). Variações na anatomia vegetal podem indicar características que atribuem tolerância às diferentes condições de cultivo, como tolerância à seca (GRISI et al., 2008; BATISTA et al., 2010) e a patógenos (SILVA; ALQUINI; CAVALLET, 2005). Nesse sentido, a caracterização da anatomia e da fisiologia vegetal utilizada em conjunto com o melhoramento convencional poderá oferecer, em um menor tempo, respostas às principais limitações enfrentadas pelos programas de melhoramento genético do cafeeiro.

Com o presente trabalho objetivou-se avaliar o potencial do uso de características anatômicas e fisiológicas na seleção de progênies de cafeeiro.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Melhoramento genético do cafeeiro arábica**

No melhoramento do cafeeiro no Brasil, a primeira fase vai desde a introdução da cultivar Típica, em 1727, até o início da década de 1930, quando se realizou um melhoramento meramente empírico, feito pelo próprio cafeicultor que utilizava os mutantes e recombinantes que surgiram em suas lavouras, ou materiais exóticos de outras regiões do mundo. A segunda fase, a partir de 1932 até os dias atuais, é marcada pelo melhoramento científico (MENDES et al., 1996).

Os objetivos gerais, até a década de 1960, eram direcionados primordialmente ao desenvolvimento de cultivares com alta produtividade, vigor, longevidade e com ampla adaptação para serem cultivadas em extensas regiões com diferentes condições edafoclimáticas. Portanto, as seleções favoreciam linhagens que mostrassem baixa interação genótipo x ambiente. Após 1970, com o aparecimento da ferrugem e sua rápida dispersão nas lavouras, enorme ênfase foi dada ao melhoramento para tolerância a essa doença e também intensificadas as seleções de café para porte reduzido. No final dos anos 1970 e durante a década de 1980, ênfase adicional foi dada também aos estudos de resistência aos nematoides e ao “bicho-mineiro”, devido ao aumento desses problemas fitossanitários. As investigações sobre a qualidade da bebida foram também intensificadas nessa época (MEDINA FILHO; BORDIGNON; CARVALHO, 2008).

Ao contrário dos períodos precedentes nos quais prevaleceu o desenvolvimento de poucas cultivares com ampla adaptação, a partir dos anos de 1990, explorou-se também a aptidão comercial de materiais com favoráveis interações genótipo x ambiente. Assim, houve o lançamento de maior número de

linhagens de cultivares já estabelecidas, que mostravam produções mais altas, porém, com adaptação a regiões mais restritas (MEDINA FILHO; BORDIGNON; CARVALHO, 2008).

## **2.2 Anatomia e fisiologia vegetal como pré - melhoramento**

Informações básicas relacionadas à anatomia e à fisiologia vegetal podem ser fundamentais na compreensão dos mecanismos das plantas envolvidos na tolerância às pragas, doenças e às condições adversas de cultivo.

Trabalhos realizados com algumas cultivares de café indicam que as características estruturais quando associadas às fisiológicas permitem discriminar satisfatoriamente as diferentes cultivares estudadas em tolerância diferencial à seca (GRISI et al., 2008; BATISTA et al., 2010). Em um trabalho desenvolvido por Batista et al. (2010) foram avaliadas características da anatomia foliar e do potencial hídrico de 15 cultivares de café em condições de campo. Nesse trabalho, foram observadas características anatômicas foliares favoráveis a uma menor susceptibilidade à seca nas cultivares Bourbon Amarelo IAC 06 e Catimor UFV 5290, características essas que podem indicar tolerância ao déficit hídrico.

Em um estudo com milho ‘Saracura’ em ambientes encharcados, durante 18 ciclos de seleção massal estratificada, Souza et al. (2010) verificaram que com o decorrer dos ciclos de seleção houve evolução da morfologia interna, as quais favoreceram a sobrevivência dessas plantas em ambientes alagados, como por exemplo, raízes mais finas e compridas, com maior volume total e área superficial; além de maior formação de aerênquima, diminuição da exoderme, modificação no córtex e nos tecidos vasculares, os quais facilitam o fluxo de fotoassimilados e de água pela planta. Nas folhas verificaram aumento dos estômatos funcionais, diminuição da cutícula e da epiderme, diminuição do

número e do tamanho das células buliformes, metaxilema com menor diâmetro, aumento na espessura do floema e menor área de esclerênquima (SOUZA et al., 2010; PEREIRA et al., 2010; SOUZA et al., 2011).

Há, portanto, grande expectativa de sucesso nos estudos de características anatômicas associadas às fisiológicas como um importante instrumento no apoio ao melhoramento genético do cafeeiro visando à identificação de genótipos superiores (BATISTA et al., 2010). Um exemplo de como as variações anatômicas podem contribuir para os programas de melhoramento genético é a característica de densidade estomática, pois quanto maior for essa característica, maior será o fluxo de CO<sub>2</sub> para o interior da folha (BALIZA et al., 2012, CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009), favorecendo a fotossíntese. Outras características destacam-se como importantes no pré-melhoramento genético, como o diâmetro e o número de vasos condutores, uma vez que, a água e os sais minerais necessários para que a planta realize a fotossíntese são transportados via xilema, e os fotoassimilados necessários para o desenvolvimento da planta são transportados via floema (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

A utilização de características anatômicas também apresenta a possibilidade de dinamizar o processo de obtenção de novas cultivares cafeeiras, podendo oferecer, num menor espaço de tempo, respostas às principais limitações que a cada dia se colocam como novos desafios.

### **2.3 Modelo misto no melhoramento de espécies perenes**

As estimativas de parâmetros genéticos permitem conhecer a estrutura genética da população, a inferência da variabilidade genética presente na população e proporcionam subsídios para prever os ganhos genéticos e o possível sucesso no programa de melhoramento. Essas estimativas também são

importantes na redefinição dos métodos de melhoramento a serem utilizados, na identificação da natureza da ação dos genes envolvidos no controle dos caracteres quantitativos, na definição com eficiência de diferentes estratégias de melhoramento para obtenção de ganhos genéticos com a manutenção da base genética adequada na população (CRUZ; CARNEIRO, 2006). Entre os parâmetros genéticos e fenotípicos que podem auxiliar o direcionamento da seleção de cafeeiros mais promissores, destacam-se as variâncias genéticas e fenotípicas (FERRÃO et al., 2008).

Na avaliação dos genótipos obtidos nos programas de melhoramento genético vegetal tem sido comum a análise baseada em modelo fixo. No entanto, se os materiais avaliados forem obtidos por amostragem de uma população, a análise baseada em modelo fixo não é a mais correta, sendo mais indicada a abordagem por modelos mistos, nos quais se incluem os efeitos fixos e os efeitos aleatórios. Se a abordagem por modelo fixo for utilizada, os efeitos prejudiciais são tidos como mínimos e a ordem de classificação dos genótipos (tratamentos), em geral, não se altera, desde que o ensaio esteja em delineamento ortogonal e balanceado (DUARTE; VENCOVSKY, 2001). No caso de ensaio com muitos genótipos sendo avaliados, ou no caso de ensaio com delineamento desbalanceado não planejado, devido à perda de parcela durante a condução do experimento; a abordagem por modelo fixo, quando o modelo na verdade é misto, pode conduzir a equívocos na seleção dos melhores genótipos, pois a ordem de classificação dos genótipos pode ser diferente entre as duas abordagens (BUENO FILHO; VENCOVSKY, 2000; DUARTE; VENCOVSKY, 2001).

A abordagem inadequada para a avaliação de uma característica para a seleção de genótipos superiores pode levar ao insucesso do programa de melhoramento, por não conseguir isolar de forma eficiente o efeito genético do efeito ambiental. Neste contexto, o procedimento ótimo consiste na estimação da

variância e na predição dos valores genotípicos. O procedimento para estimar a variância, no caso de modelos fixos, envolve os procedimentos ANOVA baseados no método dos momentos (FISHER, 1918; HENDERSON, 1953) e no método de quadrados mínimos ordinários para estimar as médias. Nos modelos mistos, o método de quadrados mínimos ordinário não é válido, sendo então utilizados os métodos de estimação de máxima verossimilhança (ML) (HARTLEY; RAO, 1967) ou máxima verossimilhança restrita (REML) (PATTERSON; THOMPSON, 1971). Para a variância e para a predição dos efeitos aleatórios e estimação dos efeitos fixos são utilizados os métodos de melhor preditor linear não viesado (BLUP) e melhor estimador linear não viesado (BLUE), respectivamente. Desta forma, a abordagem deve ser realizada por modelos mistos considerando o efeito de tratamentos (genotípicos) como aleatório, estes então representam uma amostra de uma população de genótipos, cujas respostas avaliadas são distribuídas normalmente, em torno de uma média comum e com uma variância genética e residual, ou seja, os efeitos genotípicos são variáveis aleatórias não observáveis, as quais correspondem aos desvios aleatórios em relação à média. Conhecendo-se a variância genética e residual, o próximo procedimento consiste em predizer os efeitos genotípicos de cada genótipo, e assim proceder ao ordenamento dos valores genotípicos de cada um e então fazer a seleção dos melhores genótipos com base na classificação ordenada dos referidos efeitos.

#### **2.4 Divergência genética**

O sucesso de um programa de melhoramento genético está intimamente relacionado à variabilidade existente na população a ser trabalhada. A divergência existente em uma população-base pode ser avaliada a partir de características agronômicas, morfológicas, moleculares, entre outras, resultando

em informações que representam a diversidade existente no conjunto de progênies estudadas (CRUZ; CARNEIRO, 2003).

A estatística multivariada, por ser um tipo de análise que possibilita integrar múltiplas informações obtidas das unidades experimentais, tem sido cada vez mais utilizada para quantificar a divergência genética existente em uma população, permitindo uma maior possibilidade de escolha de genitores divergentes em programas de melhoramento (FONSECA et al., 2006).

O estudo da divergência genética permite o conhecimento da base genética da população (FERRÃO et al., 2002), proporcionando informações que irão auxiliar no processo de seleção das progênies (XAVIER et al., 1996). Esse tipo de estudo também tem sido amplamente utilizado com o objetivo de identificar grupos de cultivares com maior similaridade.

A predição da diversidade genética pode ser obtida por vários métodos, sendo que a escolha do método ideal deve ser realizada em função da precisão desejada, da facilidade de análise e da maneira como os dados foram obtidos (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004).

### 3 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 de que aqueles apresentados pelas demais plantas, e com produtividade comparada às demais cultivares comerciais, e foi chamada de “Big Coffee”. Após a identificação dessa planta o próprio engenheiro agrônomo consultor responsável da propriedade, Florêncio Feio de Freitas Filho, selecionou plantas superiores da descendência dessa única planta, obtendo três grupos de plantas com diferentes tamanhos dos frutos e folhas. Esses grupos foram 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).

Paralelamente ao trabalho do engenheiro agrônomo, foi estabelecida uma parceria entre a propriedade agrícola e a Universidade Federal de Lavras - UFLA com o objetivo de selecionar plantas que produzissem grãos maiores e com produtividade semelhante às melhores cultivares comerciais existentes. Foram coletadas sementes de 100 plantas representativas das progênies da propriedade agrícola em Piumhi-MG e levadas para formação do campo experimental na UFLA, onde uma equipe de professores/pesquisadores iniciou o programa de melhoramento. Após a coleta em campo, foram formadas mudas e realizado o plantio na área experimental da Universidade (Setor de Cafeicultura), em 2012, em Lavras, MG.

Para a realização deste trabalho foram amostradas vinte progênies oriundas dos três tipos de grupos de procedências da população do experimento instalado na universidade.

Durante o período de condução desse experimento procederam-se com tratamentos culturais e controles fitossanitários sempre que necessários, sendo que o manejo das plantas foi realizado seguindo-se as recomendações de plantio, formação da lavoura, adubações e correções do solo conforme recomendado para a cultura (GUIMARÃES et al., 1999).

Na Tabela 1 são apresentadas as descrições das progênies amostradas para a avaliação da estrutura interna de folhas e para as análises fisiológicas.

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	Folhas e frutos muito acima do tamanho padrão*
M	M13	
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 grãos de peneiras altas (17 e acima) (FAZUOLI et al., 2008).

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 (Tabela 2).

Tabela 2 Variáveis climatológicas durante o período de avaliação, no ano agrícola 2013/2014, Lavras – MG, 2014

<b>Data</b>	<b>Radiação [W/m<sup>2</sup>] (média)</b>	<b>Precipitação [mm] (somatório)</b>	<b>Temperatura [°C] (média)</b>	<b>Umidade Relativa [%] (média)</b>
mar/13	68,2	170,0	22,6	86,7
abr/13	59,8	68,4	20,1	85,1
mai/13	97,9	88,9	18,9	78,9
jun/13	126,7	20,3	19,2	79,7
jul/13	149,3	12,8	17,9	70,8
<b>ago/13</b>	<b>185,8</b>	<b>1,9</b>	<b>19,0</b>	<b>61,3</b>
set/13	198,2	64,4	20,9	63,4
out/13	197,3	96,0	21,0	70,6
nov/13	235,8	201,6	21,6	78,7
dez/13	218,5	184,2	22,8	86,3
jan/14	305,5	233,0	23,6	72,8
fev/14	283,4	34,2	23,7	69,2
<b>mar/14</b>	<b>217,0</b>	<b>77,4</b>	<b>22,8</b>	<b>78,5</b>
abr/14	191,7	141,4	21,3	82,8
mai/14	175,6	25,6	18,7	77,0
jun/14	157,0	7,0	18,5	78,4
jul/14	153,0	44,2	17,3	76,8
ago/14	202,0	16,0	19,1	63,3

### 3.1 Delineamento experimental

Para as avaliações fisiológicas e anatômicas, foram amostradas vinte progênies da população instalada na UFLA, sendo 6 da procedência “P”, 8 da procedência “M” e 6 da procedência “G”. Cada progênie foi representada por 3

plantas (repetições). Para as análises estatísticas foi considerado o delineamento inteiramente casualizado, com dois períodos de avaliação, sendo que esse delineamento foi esquematizado para a realização deste trabalho considerando condições laboratoriais, não seguindo o esquema instalado em campo. As plantas usadas para este trabalho foram amostradas aleatoriamente da população do campo.

### **3.2 Características avaliadas**

Nos dois períodos foram avaliadas características anatômicas e fisiológicas das plantas.

#### **3.2.1 Características anatômicas**

Para os estudos anatômicos foram coletadas três folhas (uma de cada planta) completamente expandidas do 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 três folhas coletadas das três plantas representativas da mesma progênie (repetições) foram colocadas em um mesmo recipiente. No laboratório, foram montadas três lâminas para cada folha, onde foram obtidas três seções de cada lâmina para realizar as medições, totalizando em nove medições por parcela.

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<sup>-1</sup>). As análises foram realizadas no Laboratório de Anatomia Vegetal do Café do Setor de Cafeicultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

As seções transversais foram obtidas em micrótomo de mesa tipo LPC e as seções 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<sup>-1</sup>) (KRAUS; ARDUIN, 1997).

As lâminas foram observadas e fotografadas em microscópio óptico modelo Olympus BX 60 acoplado à câmera digital Canon A630. As imagens foram analisadas em software para análise de imagens UTHSCSA-Imagetool.

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 - DE - (número de estômatos por mm<sup>2</sup>) e funcionalidade estomática - FUN - (considerada como a relação diâmetro polar/diâmetro equatorial dos estômatos) segundo Castro, Pereira e Paiva (2009).

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 (EF); diâmetro dos vasos do xilema (DVX); e número de vasos do xilema (NVX).

### **3.2.2 Características fisiológicas**

Para as análises fisiológicas foram utilizadas três plantas de cada progênie (as mesmas utilizadas nas análises anatômicas), consideradas como repetições.

O potencial hídrico foliar foi determinado utilizando-se uma câmara de pressão, modelo 1000-PMS Instrument Company. A determinação constituiu na coleta de amostras de duas folhas ativas por planta, isentas de sintomas de

doenças, deficiências nutricionais e ataque de pragas, sendo essa realizada às 5h da manhã. As folhas foram coletadas em ramos plagiotrópicos no terço médio das plantas, localizadas no terceiro nó a partir do ápice do ramo (SILVA et al., 2008). Estas foram embaladas em papel alumínio, colocadas em sacos plásticos dentro de isopor com gelo e posteriormente avaliadas na câmara, aplicando-se uma pressão até que ocorresse exsudação pelo corte feito no pecíolo da folha.

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 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.

### 3.3 Análise dos dados

Para a estimação dos parâmetros genéticos nos dois períodos distintos de avaliação foi ajustado aos dados de características anatômicas o seguinte modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + p_{il} + a_{j(i)l} + f_{k(j(i))l} + e_{ijkl} \quad \text{com: } e_{ijkl} \sim (0, \sigma_r^2);$$

$$p_{il} \sim (0, \sigma_p^2)$$

$$a_{j(i)l} \sim (0, \sigma_{A/P}^2)$$

$$f_{k(j(i))l} \sim (0, \sigma_{rp}^2)$$

Sendo:

$Y_{ijkl}$  : valor observado da replicata  $k$  na progênie  $j$  dentro da procedência  $i$  no período  $l$ ;

$\mu$  : constante inerente a todas as observações;

$p_{il}$  : efeito da procedência  $i$  no período  $l$ ;  
 $a_{j(i)l}$  : efeito da progênie  $j$  dentro da procedência  $i$  no período  $l$ ;  
 $f_{k(j(i))l}$  : efeito da replicata  $k$  da progênie  $j$  dentro da procedência  $i$  no período  $l$ ;  
 $e_{ijkl}$  : efeito do erro experimental

Para as características fisiológicas, foi ajustado o seguinte modelo:

$$Y_{ijl} = \mu + p_{il} + a_{j(i)l} + e_{ijl} \quad \text{com: } e_{ijl} \sim (0, \sigma_r^2);$$

$$p_{il} \sim (0, \sigma_p^2)$$

$$a_{j(i)l} \sim (0, \sigma_{A/P}^2)$$

Sendo:

$Y_{ijl}$  : valor observado da progênie  $j$  dentro da procedência  $i$  no período  $l$ ;  
 $\mu$  : uma constante inerente a todas as observações;  
 $p_{il}$  : efeito da procedência  $i$  no período  $l$ ;  
 $a_{j(i)l}$  : efeito da progênie  $j$  dentro da procedência  $i$  no período  $l$ ;  
 $e_{ijkl}$  : efeito do erro experimental

Em que:

$\sigma_r^2$  : variância residual  
 $\sigma_p^2$  : variância genética entre procedências  
 $\sigma_{A/P}^2$  : variância genética entre progênies dentro de procedências  
 $\sigma_{rp}^2$  : variância das replicatas.

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; MAECHLER; BOLKER, 2012) 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.

Para o agrupamento das progênies foi utilizada como medida de dissimilaridade a distância generalizada de Mahalanobis ( $D_{ii}^2$ ). Com o objetivo de agrupar os genótipos mais similares para determinar a divergência genética entre as progênies, foi empregado o método de agrupamento de Ward.

Na análise de ordenamento, cada gráfico gerado representa o ordenamento dos valores genotípicos de cada progênie/procedência. Nos gráficos, os pontos significam os valores genotípicos de cada progênie/procedência, ou seja, os desvios de cada progênie/procedência em relação à média geral da população. Junto com o ponto há uma reta horizontal, que significa o intervalo de confiança, sendo que quando essa reta toca a linha vertical do gráfico (valor genotípico 0) os valores genotípicos não são significativos, ou seja, estatisticamente não são diferentes de zero. Para os valores genotípicos em que intervalo de confiança não contém o valor zero, ou seja, quando a reta não toca a linha central do gráfico, esse valor é significativo. Desta forma, pode-se agrupar as progênies/procedências em grupos, as que apresentam um desempenho superior à média geral, as que apresentam um desempenho médio e as que apresentam um desempenho inferior à média geral.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Ordenamento das progênies para características anatômicas

Foi realizado o ordenamento dos valores genotípicos das progênies e procedências de acordo com cada característica anatômica analisada.

#### 4.1.1 Espessura dos tecidos foliares

Na tabela 3 observa-se que para a espessura da cutícula-CUT a variância genética entre procedências ( $\hat{\sigma}_P^2$ ) foi maior no período 1, da seca, em relação ao período 2, das chuvas. Isso indica que no período da seca as procedências apresentaram uma maior diferença (variabilidade) entre si. Isso pode ter ocorrido em função da menor disponibilidade de água nesse período (Tabela 2), ou seja, no período das chuvas, quando a disponibilidade de água não foi limitante ocorreu menor variabilidade entre as procedências. Esta observação pode ser evidenciada na Figura 1, no período da seca os valores genotípicos variaram de 0,4 a -1,0 aproximadamente, enquanto que no período de chuva essa magnitude foi menor (0,05 a 0,15). Também observa-se pela Figura 1 que as procedências apresentaram comportamento diferente nos dois períodos. No período chuvoso, a procedência G apresentou maior valor genotípico, seguida da procedência M e P. Já no período de seca, na qual foi observada uma maior variabilidade, ocorreu o contrário, a procedência P mostrou maior valor, e a procedência G menor. Isto pode indicar que as progênies da procedência P tendem a ter uma espessura de cutícula maior em condições adversas de disponibilidade hídrica.

Já a variância genética das progênies dentro de procedências ( $\hat{\sigma}_{A/P}^2$ ) foi maior no período de chuva em relação ao período de seca; no entanto, o comportamento foi semelhante para os dois períodos.

Pode-se observar na Tabela 3 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 um estudo com angiospermas, onde verificaram que à medida que as plantas eram expostas a variações climáticas, como déficit hídrico e luz, ocorriam modificações nos tecidos foliares. Isso corrobora com o resultado obtido por Baliza et al. (2012) em um estudo com cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação, no qual foi observado que as estruturas anatômicas das folhas do cafeeiro e suas respectivas funções apresentam significativa plasticidade morfoanatômica aos diferentes níveis de radiação solar, adaptando sua forma conforme a quantidade de radiação.

Tabela 3 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 a variável espessura da cutícula (CUT), espessura da epiderme da face adaxial (EAD), espessura do parênquima paliçádico (PAL), espessura do parênquima esponjoso (PES) e espessura do mesofilo (MES)

Parâmetros	Período	Estimativas				
		CUT	EAD	PAL	PES	MES
$\hat{\sigma}_{A/P}^2$	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
	1	0,6652	0,0747	448,849	197,79	459,6
$\hat{\sigma}_r^2$		0,6689	2,3596	62,373	197,94	231,9

Nota: Lavras - MG, 2014.

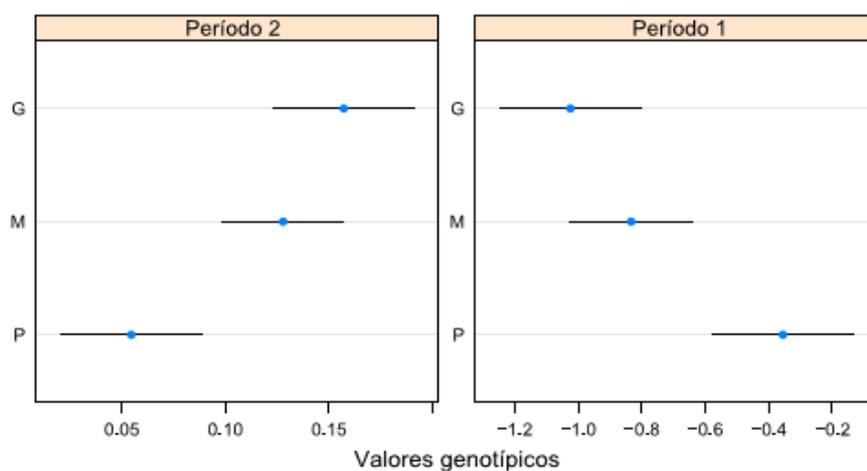


Figura 1 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável cutícula, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

Verifica-se pela Figura 2 o mesmo ordenamento das progênies dentro de procedência nos dois períodos avaliados. Entretanto, no período chuvoso as progênies apresentaram valores genotípicos maiores que no período de seca.

Observando-se os valores genotípicos, nota-se uma superioridade das progênies P26, P13, M2, que apresentaram maiores valores genotípicos. As progênies M3 e G27 apresentaram menores valores. As progênies intermediárias do ordenamento, onde o intervalo de confiança toca a linha central do zero, não apresentam valores genotípicos diferentes de zero, estatisticamente.

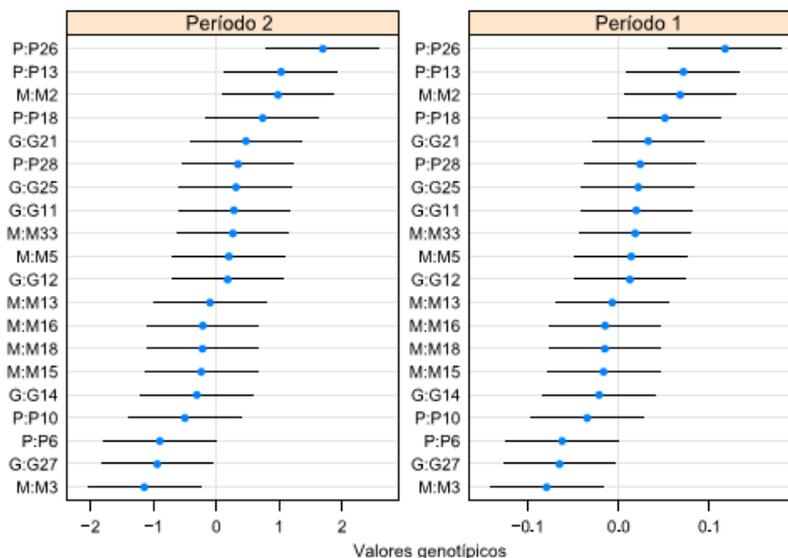


Figura 2 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênes dentro de procedências para a variável cutícula, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

Essa diferença na espessura da cutícula é comumente considerada como uma prevenção contra a transpiração (CASTRO; PEREIRA; PAIVA 2009). Além disso, essa característica é encontrada em plantas de ambientes ensolarados ou xéricos (BORGERS; WISNIEWSKI, 2003). Indicando que genótipos de maior espessura possuem maior adaptabilidade às condições de alta temperatura.

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. Nesse sentido, a progênie P26 pode apresentar maior aclimação a condições de estresse hídrico, pois ocupou o primeiro lugar do ordenamento nos dois períodos.

Para a variável espessura da epiderme da face adaxial-EAD observa-se que a variância genética entre procedências ( $\hat{\sigma}_p^2$ ) foi maior no período de chuva (Tabela 3). Esta observação pode ser evidenciada na Figura 3, pois no período de chuva os valores genotípicos variaram de -2,5 a 1,0 aproximadamente, enquanto que no período de seca essa magnitude foi menor (-0,4 a 0,1), mesmo apresentando valores genotípicos diferentes o ordenamento das procedências foi o mesmo nos dois períodos. A procedência P ficou no primeiro lugar do ordenamento, seguido da M e G. Foi observado que mesmo o intervalo de confiança da procedência P tendo tocado a linha do zero, indicando que o valor genotípico da procedência P é zero; a procedência P ficou em primeiro lugar no ordenamento, pois as demais procedências apresentaram valores genotípicos negativos.

A variância genética das progênies dentro de procedências ( $\hat{\sigma}_{A/P}^2$ ) também foi maior no período de chuva (Tabela 3), no entanto o comportamento das progênies foi o inverso para os dois períodos (Figura 4).

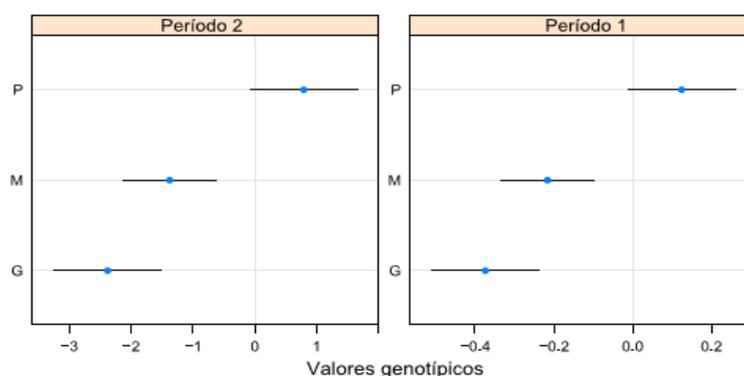


Figura 3 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável espessura da epiderme da face adaxial, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

Em relação ao ordenamento das progênies (Figura 4), 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.

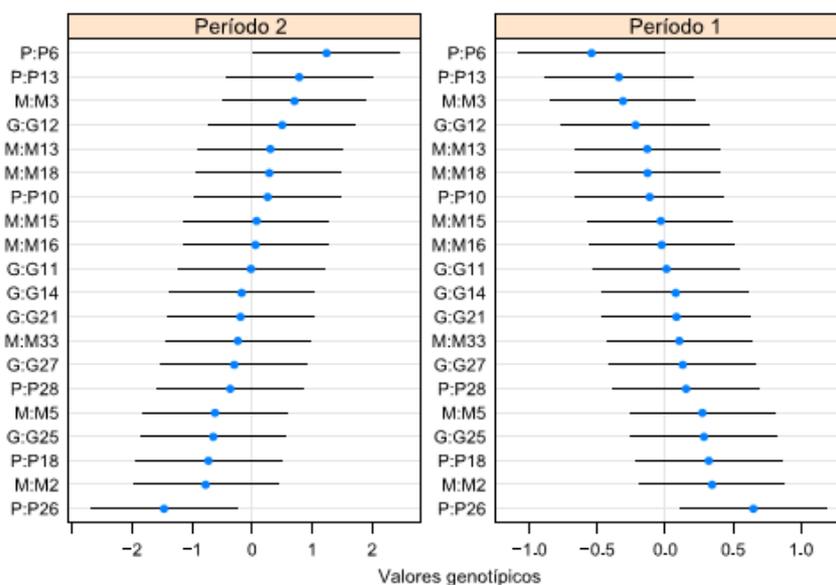


Figura 4 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies dentro de procedências para a variável espessura da epiderme da face adaxial, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

As variações encontradas entre as progênies e entre os períodos podem ser explicadas pelas condições ambientais que as plantas se encontram no

campo, sujeitos 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 2) e para espessura da epiderme da face adaxial no período de seca (Figura 4).

Para a variável espessura do parênquima paliçádico-PAL, assim como ocorreu para a variável CUT, observa-se que a variância genética entre procedências ( $\hat{\sigma}_p^2$ ) foi maior no período da seca, (Tabela 3) em relação ao período de chuva. Isso indica que no período da seca as procedências apresentaram uma maior variabilidade entre si. Isso repete-se na Figura 5, pois no período da seca, os valores variaram de 25 a 15 aproximadamente, enquanto que no período de chuva essa magnitude foi menor, ficando ao redor do valor 0. No período de seca, quando foi observada uma maior variabilidade, a procedência P apresentou maior valor genotípico, seguida da M e G.

Observando o ordenamento ocorrido nas Figuras 3 e 5, pode-se inferir que as progênies da procedência P tendem a ter uma espessura de cutícula e do parênquima paliçádico maior em condições adversas de disponibilidade hídrica.

A variância genética das progênies dentro de procedências ( $\hat{\sigma}_{A/P}^2$ ) também foi maior no período de seca, ocorrendo o mesmo ordenamento das progênies nos dois períodos (Figura 6).

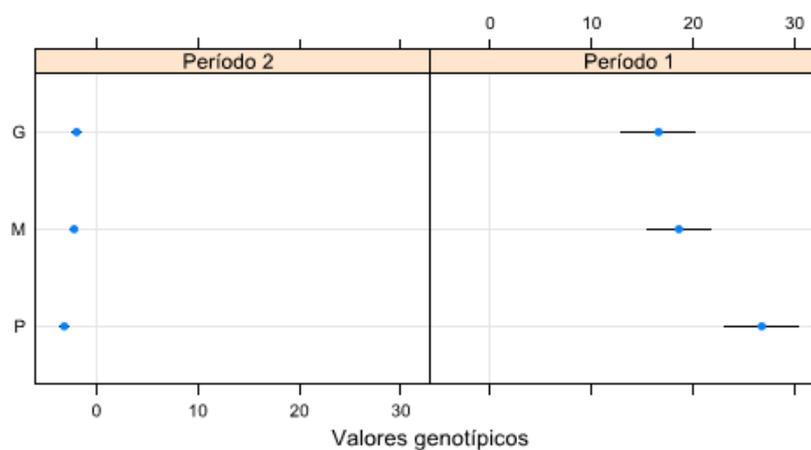


Figura 5 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável espessura do parênquima paliádico, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

Assim como ocorreu para a CUT, o ordenamento das progênes para PAL foi o mesmo nos dois períodos (Figuras 2 e 6). Entretanto, para o PAL a progênie P6 foi a que apresentou maior valor genotípico, sendo a primeira no ordenamento (Figura 6).

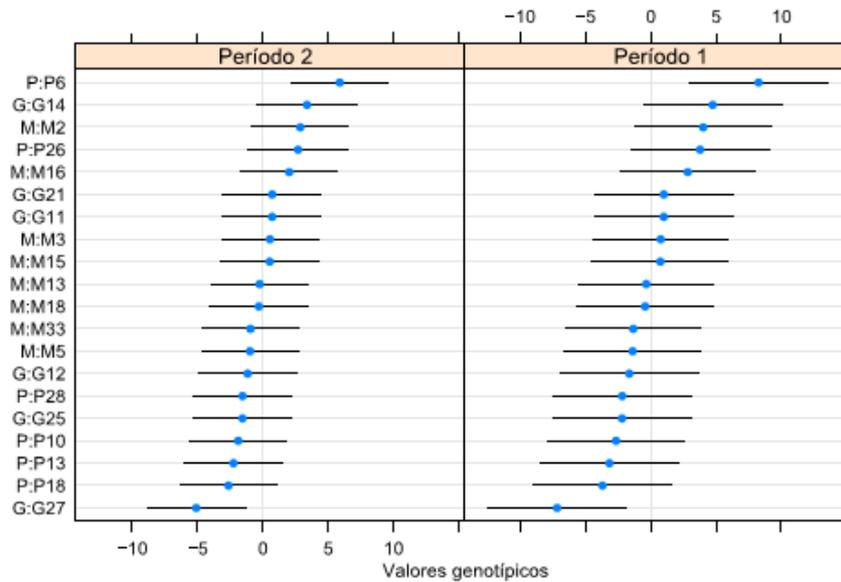


Figura 6 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies dentro de procedências para a variável espessura do parênquima paliçádico, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

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. Em condições de maior disponibilidade de radiação solar e água, a espessura do parênquima paliçádico tende a ser maior.

Para a variável espessura do parênquima esponjoso – PES, observa-se que a variância genética entre procedências ( $\hat{\sigma}_p^2$ ) foi maior no período da seca em relação ao período das chuvas, assim como ocorreu para CUT e PAL (Tabela 3), indicando que no período da seca, para as variáveis CUT, PAL e PES, as procedências apresentaram maior variabilidade entre si. Esta observação é evidenciada na Figura 7. No período da seca os valores genotípicos variaram de 10 a 15 aproximadamente, enquanto que no período de chuva essa magnitude foi menor, valores em torno de -5. No período de seca a procedência G mostrou maior valor, e a M menor.

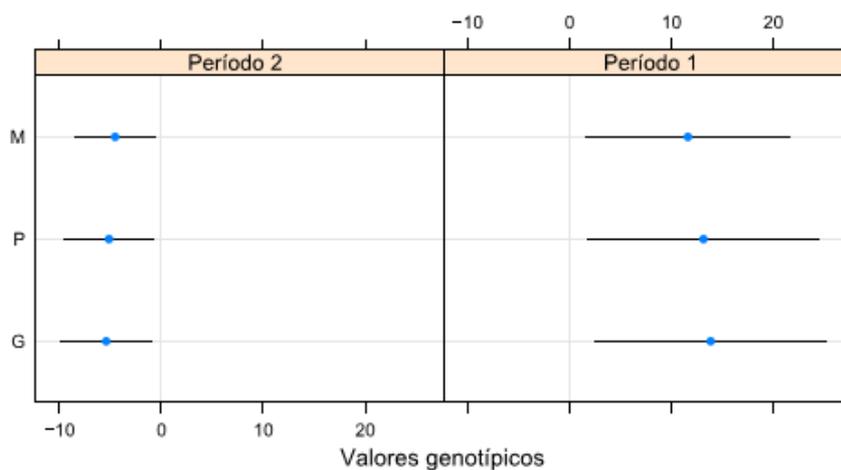


Figura 7 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável espessura do parênquima esponjoso, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

Observa-se a partir do ordenamento das progênies (Figura 8), que não houve diferença dos valores genotípicos das progênies no período chuvoso, provavelmente devido a uma maior disponibilidade hídrica e a uma maior umidade relativa ocorrida nesse período (Tabela 2). No período seco houve

maior variabilidade, as progênies P6, G11 e G12 apresentaram os maiores valores e as progênies M2e P13 apresentaram os menores valores. Assim como para PAL, o progênie P6 apresentou maior valor genotípico para PES (Figuras 6 e 8).

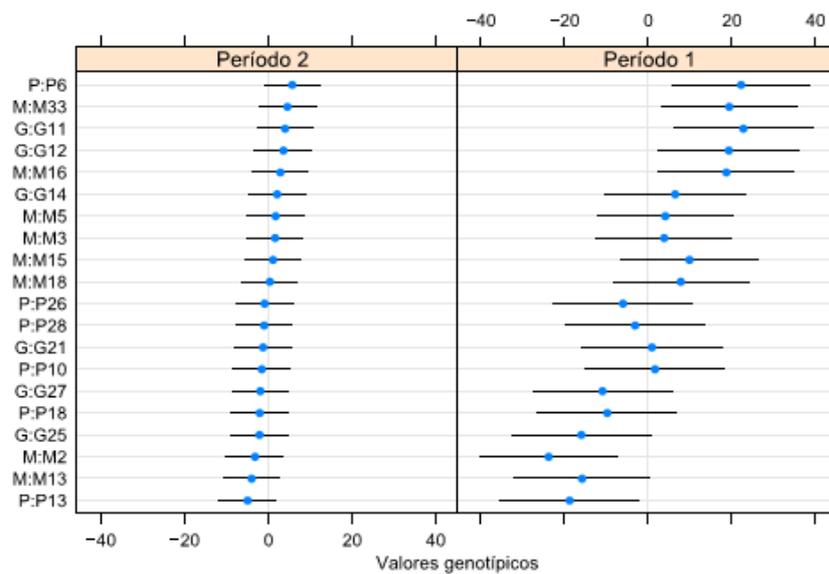


Figura 8 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies dentro de procedências para a variável espessura do parênquima esponjoso, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

O parênquima esponjoso é também conhecido como parênquima lacunoso, sendo formado por células irregulares que delimitam espaços intercelulares de tamanhos diferentes (APPEZZATO-DA-GLÓRIA; CARMELLO-GUERREIRO, 2012). Espessura maior desse tecido pode favorecer o desempenho de plantas quando o fator limitante for  $\text{CO}_2$ , 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<sub>2</sub>, necessário à fotossíntese.

Para a variável espessura do mesofil, MES, observa-se que a variância genética entre procedências ( $\hat{\sigma}_p^2$ ) foi maior no período de chuva (Tabela 3).

De acordo como ordenamento apresentado na Figura 9, no período chuvoso a procedência M apresentou maior valor genotípico, seguida da G e P. Já no período de seca a procedência P mostrou maior valor, ficando no primeiro lugar do ordenamento, o que ocorreu também no período seco na variável PAL.

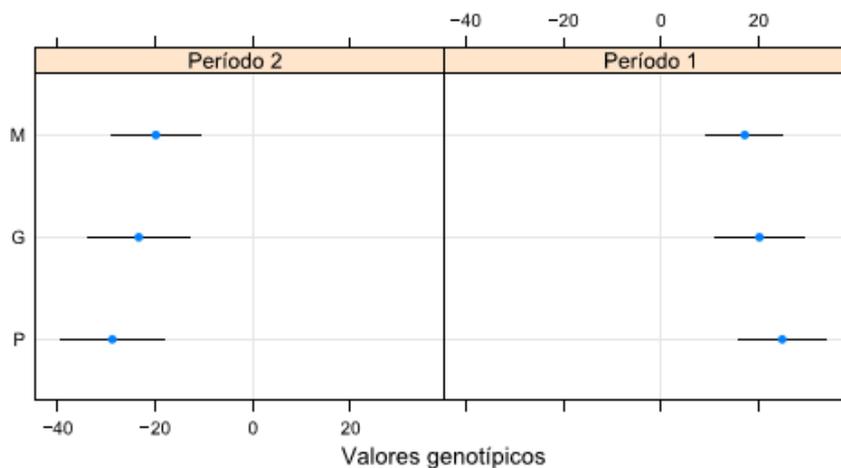


Figura 9 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável espessura do mesofilo, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

A variância genética das progênes dentro de procedências ( $\hat{\sigma}_{A/p}^2$ ) foi maior no período de seca (Tabela 3), indicando que há maior variabilidade entre as progênes no período de seca. Isso pode ser observado também na Figura 10 onde, no período de chuva, a única progênie que apresentou valor genotípico diferente das demais foi a P6, ficando em primeiro lugar no ordenamento. Já no

período de seca, onde houve uma maior variabilidade entre as progênes, observa-se que as progênes P6, G11, M16 apresentaram maiores valores e as progênes G27, G25 e M2 apresentaram os menores valores.

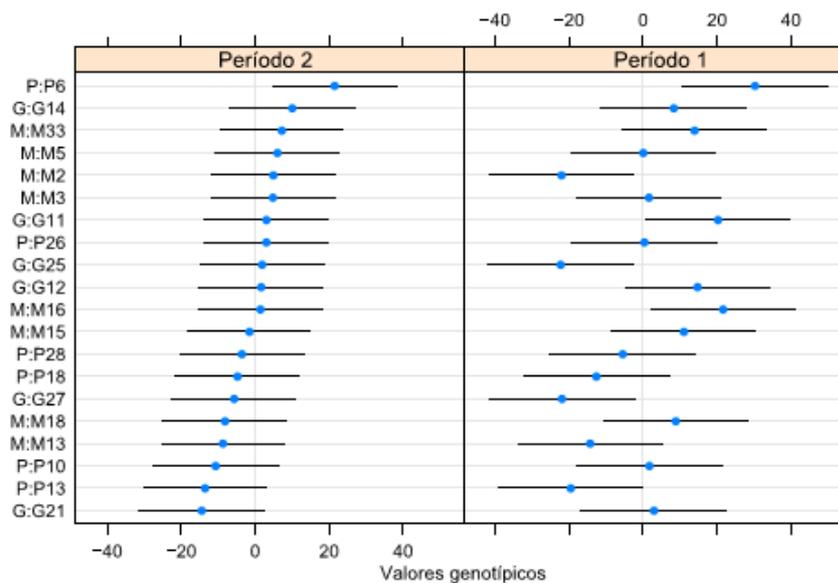


Figura 10 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênes dentro de procedências para a variável espessura do mesofilo, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

Assim como ocorreu nas variáveis PAL e PES, para o MES a progênie P6 se destacou, apresentando maior valor genotípico (Figuras 6, 8 e 10). 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 (Figuras 6 e 10). O mesofilo das folhas é composto pelo parênquima paliçádico e pelo parênquima esponjoso. Segundo Medri e Perez (1980), características de resistências das plantas em condições de estresse é dada pela

forte compactação mesofílica, com abundante parênquima paliçádico, em relação ao esponjoso.

#### 4.1.2 Feixes Vasculares

As estimativas dos parâmetros genéticos para as variáveis relacionadas aos feixes vasculares são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 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 a variável número de vasos do xilema (NXL), diâmetro dos vasos do xilema (DXL) e espessura do floema (FLO)

Parâmetro	Período	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	17,831

Nota: Lavras - MG, 2014.

Para a variável número de vasos do xilema-NXL observa-se que a variância genética entre procedências ( $\hat{\sigma}_P^2$ ) e a variância genética das progênes dentro de procedências ( $\hat{\sigma}_{A/P}^2$ ) foram maiores no período das chuvas, (Tabela 4). Isso indica que nesse período as procedências e as progênes 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 progênes pode ser justificada pela maior disponibilidade de água nesse período (Tabela 2). Esta observação pode ser evidenciada na Figura 11, no período das chuvas os valores genotípicos variaram de 0 a -20 aproximadamente, enquanto que no período de seca essa magnitude foi menor (0

a 5). Também observa-se pela Figura 11 que as procedências apresentaram comportamento diferente nos dois períodos. No período chuvoso, a procedência G apresentou maior valor genotípico, seguida da procedência M e P. Já no período de seca, ocorreu o contrário, a procedência P mostrou maior valor, e a procedência G menor. Resultados esses também observados para as variáveis CUT e PAL (Figuras 1 e 5).

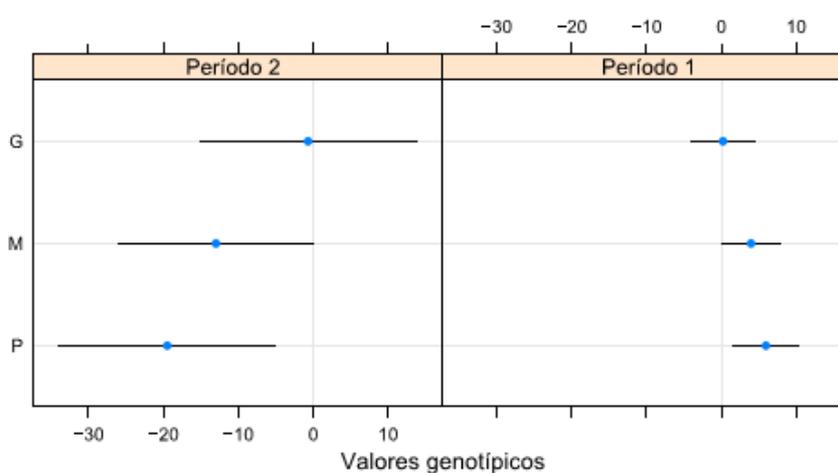


Figura 11 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável número de vasos do xilema, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

Em relação ao ordenamento das progênies (Figura 12), verifica-se que em ambos os períodos o intervalo de confiança de todas as progênies toca a linha do zero. Demonstrando que o valor genotípico das progênies é zero. Isso indica que as progênies são semelhantes entre si para a variável número de vasos do xilema.

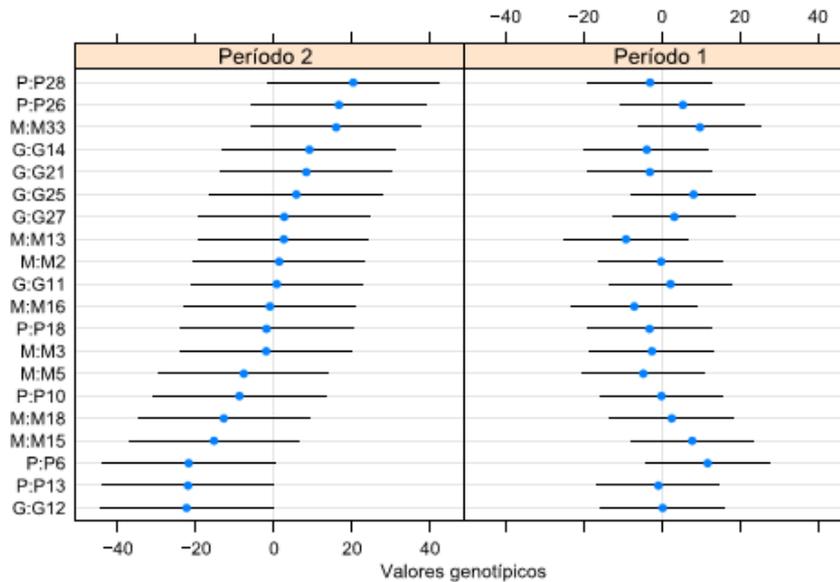


Figura 12 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies dentro de procedências para a variável número de vasos do xilema, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

Mesmo com o intervalo de confiança tocando a linha do zero, pode-se observar que a progênie P6, no período de seca, apresenta maior valor genotípico (Figura 12), o que também foi observado nas variáveis PAL, PES e MES (Figuras 6, 8 e 10). O maior número de vasos com o menor diâmetro pode favorecer a condutância hidráulica, reduzindo a cavitação e tornando a absorção de água e nutrientes mais eficiente (HACKE; SPERRY, 2001), o que facilita a adaptação das plantas. A progênie P6 pode então apresentar características que possibilitem maior adaptação a condições de estresse hídrico.

Para a variável diâmetro dos vasos do xilema-DXL observa-se que a variância genética entre procedências ( $\hat{\sigma}_p^2$ ) foi maior no período de seca (Tabela 4). Esse resultado pode indicar que quando as plantas passam por condições de

menor disponibilidade hídrica elas podem apresentar maior variabilidade entre si. No ordenamento do período da seca, a procedência G ficou em primeiro lugar (Figura 13); resultado esse observado também na variável PES (Figura 7).

A variância genética das progênies dentro de procedências ( $\hat{\sigma}_{A/P}^2$ ) também foi maior no período de seca (Tabela 4).

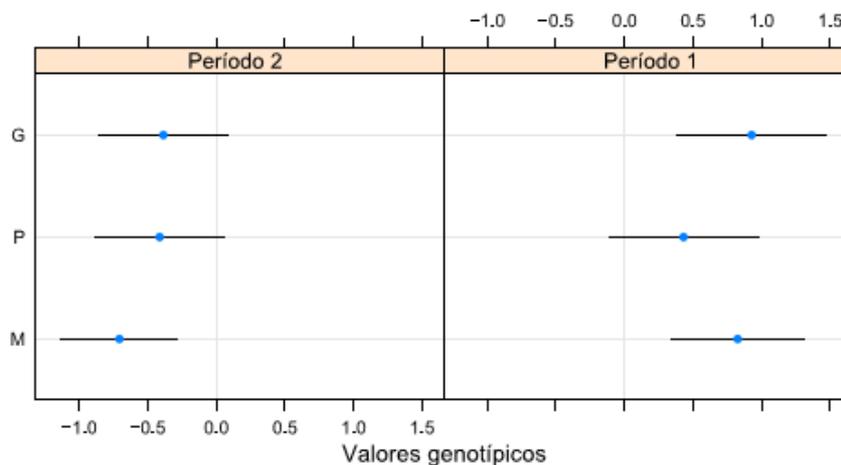


Figura 13 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável diâmetro dos vasos do xilema, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

Em relação ao ordenamento das progênies para DXL (Figura 14), verifica-se que no período chuvoso o intervalo de confiança de todas as progênies toca a linha do zero, indicando que as progênies são semelhantes entre si, assim como foi observado nas variáveis PES e NXL (Figuras 8 e 12). Esse resultado, mais uma vez, pode ser justificado pelas condições hídricas adequadas durante o período (Tabela 2), não havendo condições de estresse para que ocorra variabilidade entre as progênies. 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.

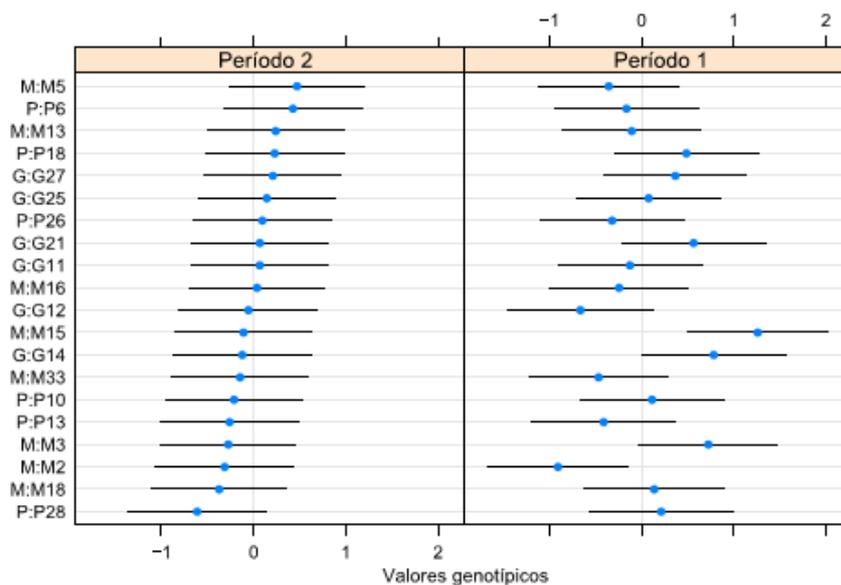


Figura 14 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies dentro de procedências para a variável diâmetro dos vasos do xilema, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

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. Uma menor espessura de vasos do xilema em condições ambientais desfavoráveis pode permitir um transporte mais eficiente e seguro, melhorando a condutividade hidráulica (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

Para a variável espessura do floema-FLO observa-se que não houve variabilidade entre os períodos para variância genética entre procedências ( $\hat{\sigma}_p^2$ ), procedendo a análise da média dos dois períodos. Esta observação pode ser

evidenciada na Figura 15, na qual observa-se um único ordenamento para os dois períodos. Também foi observado que o intervalo de confiança de todas as procedências toca a linha do zero, indicando que o valor genotípico é zero. Sendo assim, é possível afirmar que não há diferença entre as procedências para a variável FLO. Assim como a espessura da epiderme da face adaxial (Figura 3) a espessura do floema não apresentou variabilidade entre os dois períodos, podendo indicar que essas características anatômicas tendem a responder menos às variações ambientais.

A variância genética das progênies dentro de procedências ( $\hat{\sigma}_{A/p}^2$ ) foi maior no período de chuva (Tabela 4), ocorrendo um ordenamento inverso das progênies nos períodos (Figura 16), comportamento também observado para EAD (Figura 4).

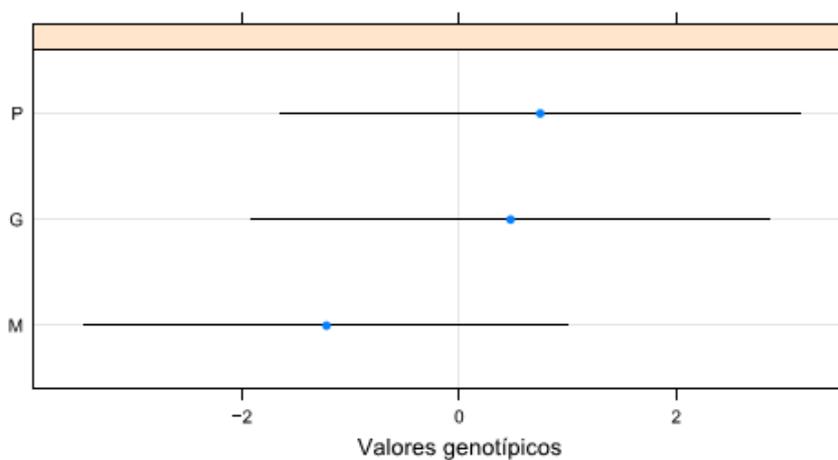


Figura 15 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável espessura do floema, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

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, sendo que as progênies M18, G12 e P13 apresentaram os maiores valores e M5, P26 os menores valores (Figura 16).

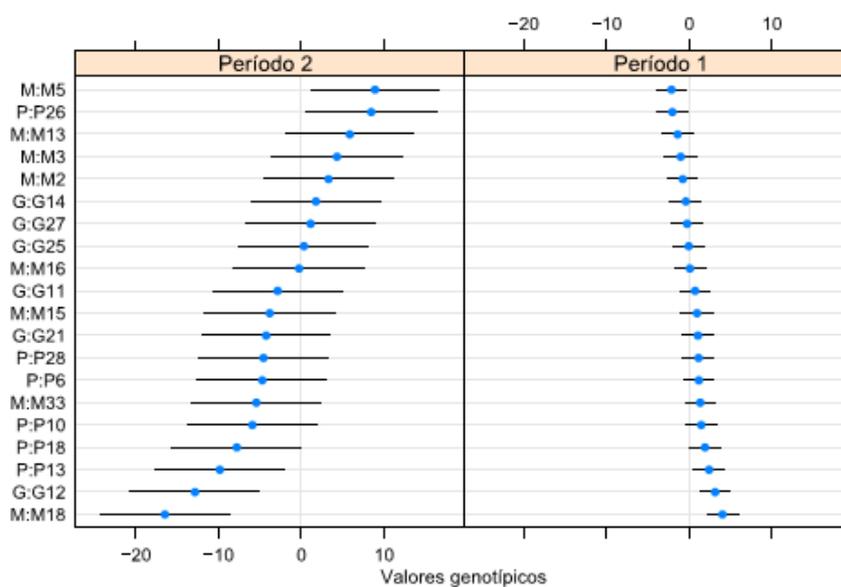


Figura 16 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies dentro de procedências para a variável espessura do floema, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

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 produção.

#### 4.1.3 Caracterização estomática

Para as variáveis densidade estomática-DEN e funcionalidade estomática-FUN observa-se que a variância genética entre procedências ( $\hat{\sigma}_P^2$ ) foi maior no período de seca, e a variância genética das progênies dentro de procedências ( $\hat{\sigma}_{A/P}^2$ ) foi maior no período das chuvas, (Tabela 5), indicando que em relação às procedências houve uma maior variabilidade entre elas no período da seca e em relação às progênies houve maior variabilidade entre elas no período das chuvas.

Tabela 5 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 a variável densidade estomática (DEN) e funcionalidade estomática (FUN)

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

Nota: Lavras - MG, 2014.

Para a variável densidade estomática-DEN, observa-se pela Figura 17 que a variabilidade entre as procedências no período das chuvas foi mínima, o que corrobora com o resultado apresentado na Tabela 5; o mesmo comportamento foi observado para PAL (Figura 5), indicando uma possível relação entre essas características. Já no período de seca, a procedência P ocupou

o primeiro lugar do ordenamento, resultado obtido também nas variáveis CUT, EAD, PAL, MES, NVX e FLO (Figuras 1, 3, 5, 9, 11 e 15). O intervalo de confiança das procedências G e M alcançou a linha do zero, indicando que não houve variabilidade entre elas.

Algumas características das plantas como a redução da área foliar, a maior densidade estomática e a maior espessura do parênquima paliçádico, em ambientes com restrição hídrica, são entendidas como mecanismos de retenção de água, diminuindo a transpiração. A menor área foliar é também associada ao aumento da espessura da lâmina, devido à presença de tecidos de sustentação e ao incremento do número de camadas do parênquima paliçádico (FAHN; CUTLER, 1992). Nesse sentido, tendo em vista que progênies oriundas da procedência P possuem folhas e frutos menores, a procedência P pode apresentar características de maior adaptação para condições ambientais com menor disponibilidade hídrica.

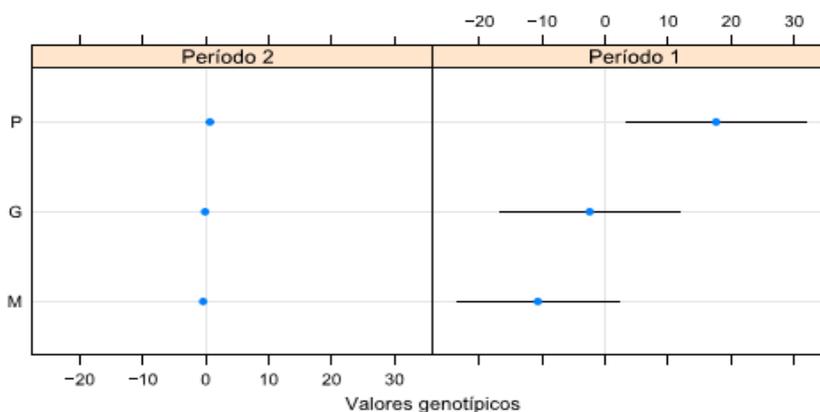


Figura 17 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável densidade estomática, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

No ordenamento das progênies (Figura 18), observou-se um comportamento inverso de acordo com o período, sendo que no período chuvoso que a progênie G27 apresentou maior valor genotípico e a progênie G21 menor valor. Já no período de seca a progênie G21 apresentou maior valor e a G27 menor.

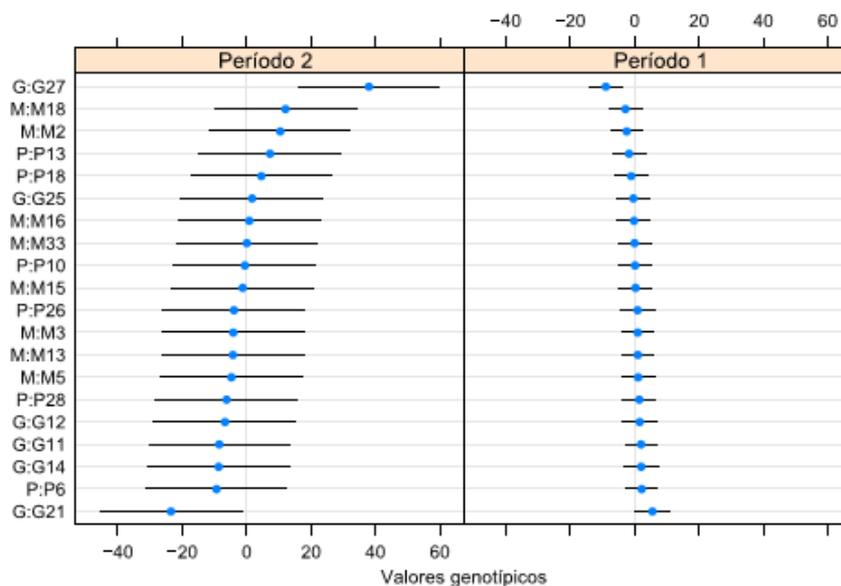


Figura 18 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies dentro de procedências para a variável densidade estomática, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

Segundo Lleras (1977), densidades estomáticas mais altas podem ser relacionadas às condições xéricas, pois quanto maior a frequência estomática por unidade de área, maior a eficiência de trocas gasosas no período em que os estômatos estão abertos. A maior quantidade de estômatos por unidade de área também pode ser considerada como uma estratégia de conservação de água nas folhas que se desenvolvem em solos com menor capacidade de retenção de água

e sob condições de alta luminosidade (LLERAS, 1977; LARCHER, 2000). Nesse sentido o maior desempenho da progênie G21 na seca (Figura 18) pode indicar melhor adaptabilidade dessa progênie às condições de baixa disponibilidade de água e maior intensidade de radiação. Entretanto, também verifica-se que houve maior desempenho de progênies de procedência G nos dois períodos, essa característica pode estar associada à procedência G, podendo ser uma característica própria da procedência, independente das condições ambientais.

Para a variável funcionalidade estomática-FUN, observou-se um mesmo ordenamento nos dois períodos; a procedência M ocupou o primeiro lugar, seguida da P e G. Entretanto, o intervalo de confiança das três procedências toca a linha do zero, sendo assim semelhantes entre si (Figura 19).

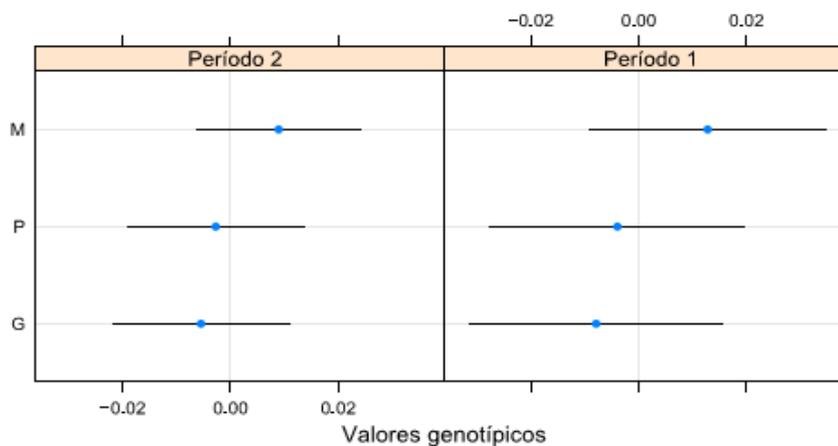


Figura 19 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável funcionalidade estomática, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

Na Figura 20 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, ocupando o último lugar no ordenamento.

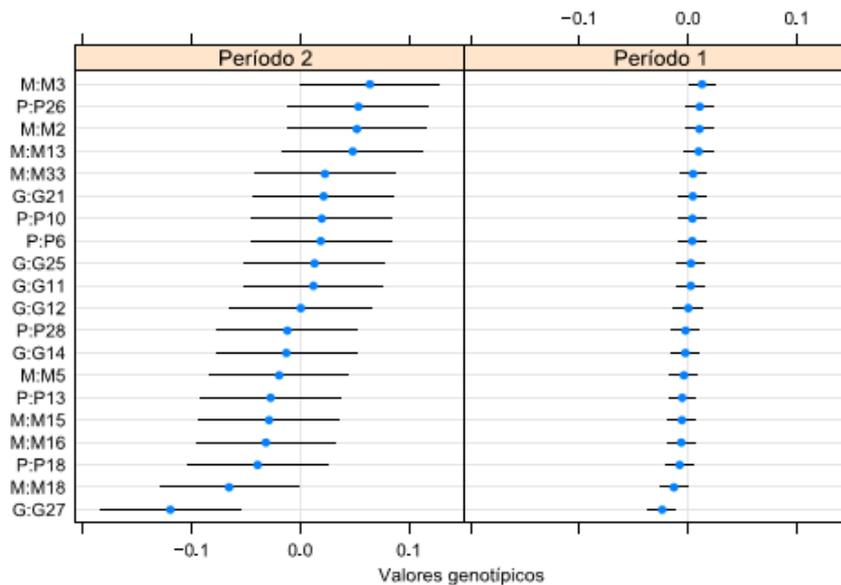


Figura 20 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies dentro de procedências para a variável funcionalidade estomática, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

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 (BORGES; WISNIEWSKI, 2003; CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

#### 4.2 Ordenamento das progênies para características fisiológicas

Para todas as variáveis fisiológicas: potencial hídrico foliar-PH, taxa fotossintética-*A*, condutância estomática-*gs* e taxa transpiratória-*E*, observa-se que a variância genética entre procedências ( $\hat{\sigma}_p^2$ ) e a variância genética das progênies dentro de procedências ( $\hat{\sigma}_{A/P}^2$ ) foram maiores no período da seca, (Tabela 6), indicando que houve uma maior variabilidade entre as procedências e entre as progênies no período da seca. Também foi observado resultado similar para as variáveis PAL, PES e DXL (Tabelas 3 e 4). 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.

Tabela 6 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 a variável potencial hídrico foliar (PH), taxa fotossintética (*A*), condutância estomática (*gs*) e taxa transpiratória (*E*)

Parâmetro	Período	Estimativa			
		PH	<i>A</i>	<i>gs</i>	<i>E</i>
$\hat{\sigma}_{A/P}^2$	2	0,0016	29,39	0,0019	0,00
	1	0,0179	59,77	0,0633	82,94
$\hat{\sigma}_p^2$	2	0,0011	52,97	0,0050	141,26
	1	0,0204	832,99	0,0166	197,80
$\hat{\sigma}_r^2$		0,0153	837,88	0,3040	1010,24

Nota: Lavras - MG, 2014.

Para a variável potencial hídrico foliar-PH, observa-se um ordenamento inverso nos dois períodos (Figura 21). No período chuvoso, a procedência M

apresentou maior valor genotípico, seguida da G e P. Já no período de seca a procedência P apresentou maior valor, e a M menor, mesmo resultado obtido para as variáveis MES, FLO e DEN (Figuras 9, 15 e 17).

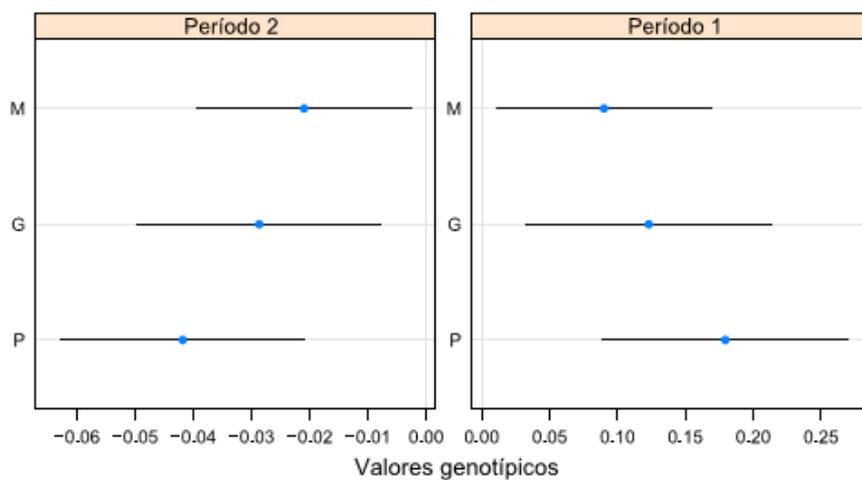


Figura 21 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável potencial hídrico foliar, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

Observando-se os valores genotípicos no ordenamento das progênies (Figura 22), nota-se uma superioridade da progênie P26, em ambos os períodos. A progênie G27 mostrou um menor desempenho no ordenamento apresentando um menor valor genotípico no período de seca. Nas variáveis CUT e EAD também observou-se maior desempenho da progênie P26 no período de seca (Figuras 2 e 4), podendo indicar uma correlação entre as características anatômicas e fisiológicas. Em relação ao menor desempenho da progênie G27 no período da seca, esse também foi observado nas variáveis CUT, PAL, MES, DEN e FUN (Figuras 2, 6, 10, 18 e 20).

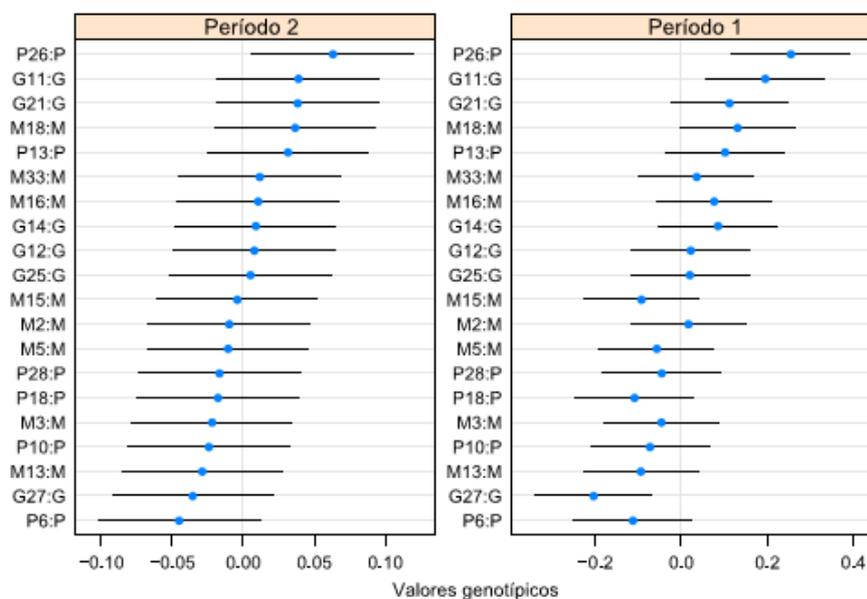


Figura 22 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies dentro de procedências para a variável potencial hídrico foliar, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

O estado hídrico da lavoura é essencial ao entendimento do potencial produtivo do cafeeiro, pois este fator pode afetar diretamente a produtividade (DAMATTA, 2004). O potencial hídrico foliar é um importante parâmetro na avaliação das respostas vegetais ao estresse hídrico (MORGAN, 1991; NOGUEIRA et al., 2001). No período de seca, a progênie P26 mostrou maior desempenho em relação às variáveis CUT, EAD e PH (Figuras 2, 4 e 22), o que pode estar relacionado com uma maior adaptabilidade dessa progênie em condições de restrição hídrica.

Para a variável taxa fotossintética,  $A$ , observa-se ordenamentos opostos nos períodos (Figura 23). No período de chuva, a procedência P apresentou maior valor genotípico, as procedências M e G apresentaram valores

semelhantes. No período de seca a procedência G também mostrou um desempenho semelhante ao desempenho da procedência M, porém relativamente superior. Para PES e DXL (Figuras 7 e 13) também foi verificado um maior desempenho da procedência G no período de seca.

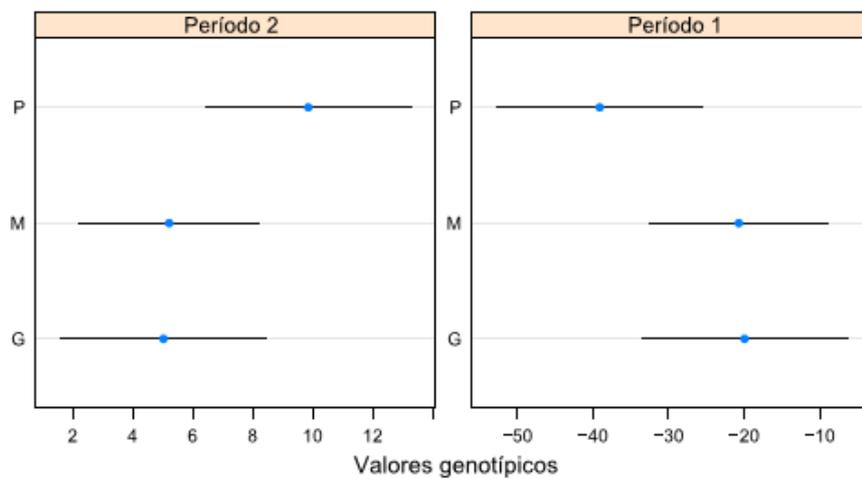


Figura 23 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável taxa fotossintética, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

Verifica-se na Figura 24 que não houve diferença no ordenamento das progênies nos dois períodos. Em ambos os períodos, o intervalo de confiança de todas as progênies toca a linha do zero, sendo as progênies semelhantes entre si. Resultado também observado no ordenamento das progênies para NXL (Figura 12).

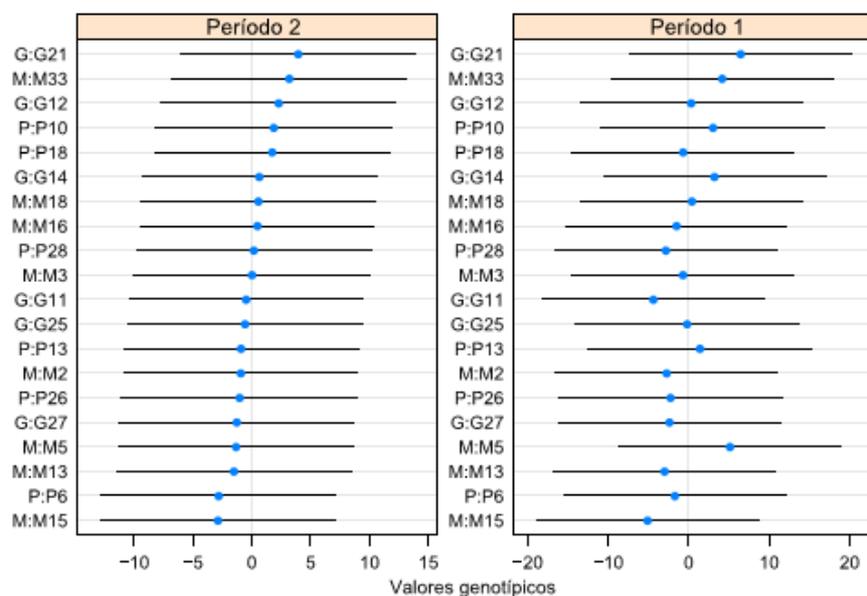


Figura 24 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies dentro de procedências para a variável taxa fotossintética, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

Aprogênie G21 apresentou maior tendência de expressar um desempenho genotípico superior em ambos os períodos (Figura 24), essa mesma progênie apresentou um maior desempenho para densidade estomática no período de seca (Figura 18). Silva et al. (2010) ao avaliarem a resposta fisiológica de clones de café Conilon submetidos ao déficit hídrico severo, encontraram valores superiores de fotossíntese em clones mais tolerantes ao déficit hídrico.

Para a variável condutância estomática,  $g_s$ , observa-se que as procedências tiveram ordenamentos opostos em relação aos dois períodos. Entretanto, em ambos os períodos as procedências são semelhantes entre si, pois os intervalos de confiança contêm o valor 0 (Figura 25).

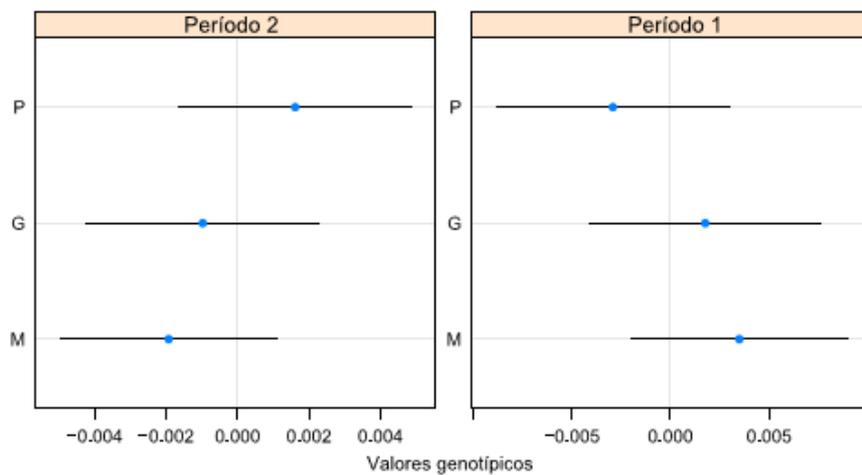


Figura 25 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável condutância estomática, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

Em relação ao ordenamento das progênies (Figura 26), a progênie M5 mostrou maior desempenho no período de seca. No período de chuva foi observado um ordenamento oposto ao de seca, em que a progênie M5 apresentou menor valor genotípico. Resultado oposto ao apresentado para FLO, onde a progênie M5 se mostrou superior no período das chuvas e inferior no período da seca (Figura 16).

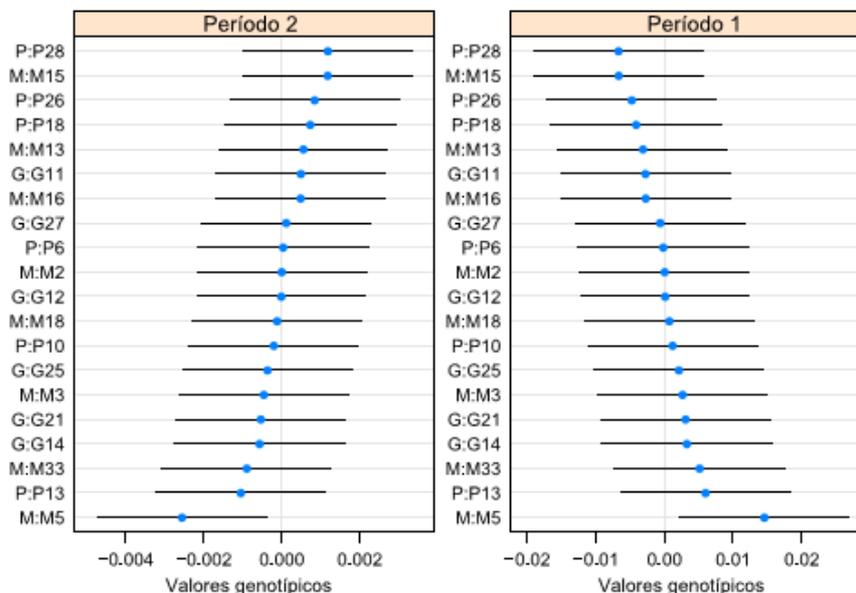


Figura 26 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies dentro de procedências para a variável condutância estomática, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

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- $E$ , foi observado, em ambos os períodos, similaridade entre as procedências M e G. Entretanto a procedência P apresentou maior valor genotípico no período de chuva e menor valor no período de seca (Figura 27), assim como observado para condutância estomática (Figura 25). No período de seca, a procedência M apresentou maior tendência de um desempenho superior, maior valor genotípico. Resultado semelhante ao

observado em  $g_s$  em que a procedência M foi superior às demais no período de seca (Figura 25).

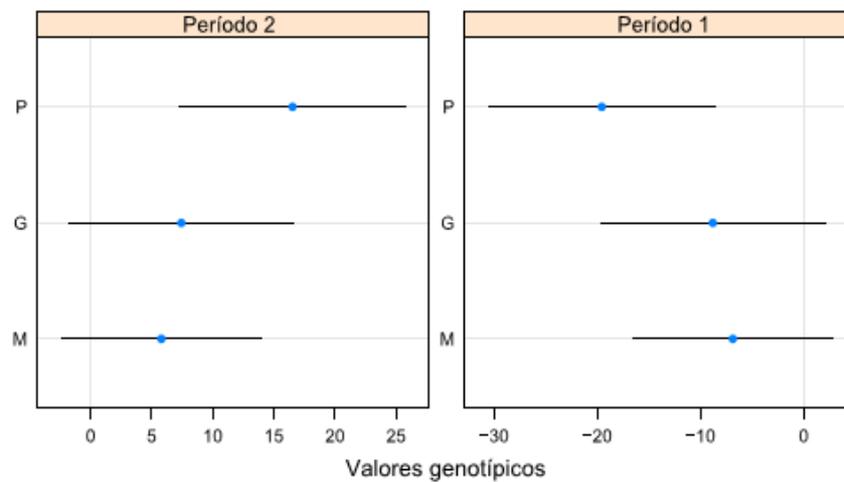


Figura 27 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das procedências para a variável taxa transpiratória, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

No ordenamento das progênies (Figura 28), observa-se maior variação dos valores genotípicos no período da seca. Entretanto, verifica-se que, em ambos os períodos, as progênies são similares entre si, pois os intervalos de confiança tocam a linha do zero. Para NXL e A também foi observada similaridade entre as progênies (Figuras 12 e 24).

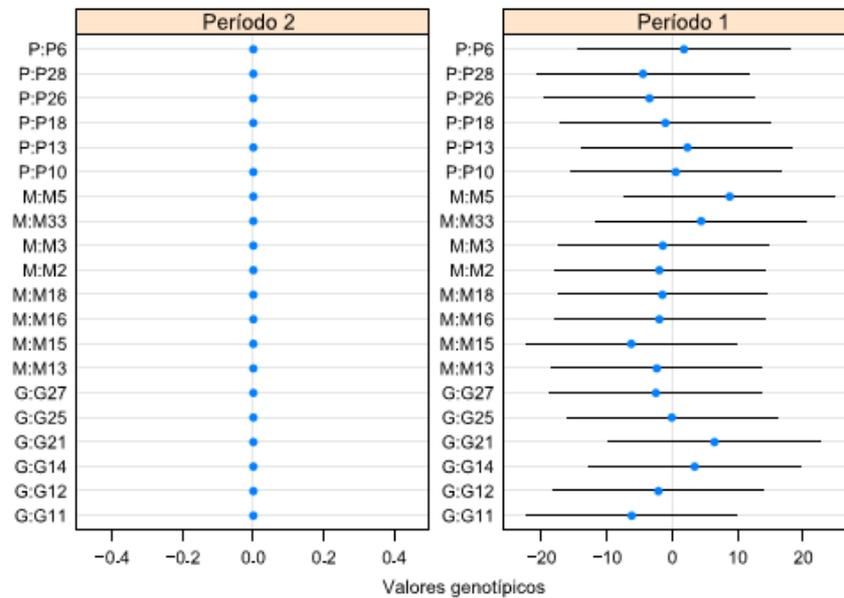


Figura 28 Valores genotípicos e seus respectivos intervalos de confiança das progênies dentro de procedências para a variável taxa transpiratória, obtidos a partir da estimativa de máxima verossimilhança restrita para o modelo ajustado

#### 4.3 Divergência genética em relação a características anatômicas

O agrupamento das progênies quanto às características anatômicas é apresentado na Figura 29.

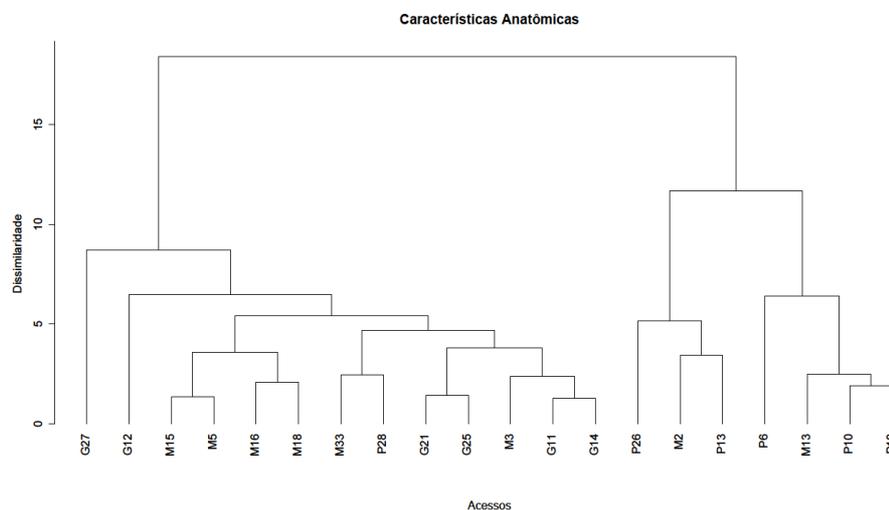


Figura 29 Dendograma ilustrativo do agrupamento de 20 progênies de *C. arabica* L. pelo método de agrupamento de Ward, obtido a partir da distância generalizada de Mahalonobis, estimada com base em treze características anatômicas foliares.

Observa-se pela Figura 29 que as progênies G27, G12, P26 e P6 foram anatomicamente as mais dissimilares. Observa-se que as progênies que foram as mais dissimilares anatomicamente no dendograma foram as mais citadas nos resultados obtidos no ordenamento das progênies. Sendo a progênie G27 citada por apresentar desempenho inferior e as progênies P26 e P6 por apresentarem desempenho superior.

Adotando um limite de similaridade em torno de 70%, verifica-se a formação de dois grupos. O primeiro grupo é composto por treze progênies, sendo seis de procedência G, seis de procedência M e apenas uma de procedência P. O segundo grupo contém sete progênies, sendo dois de procedência M e cinco de procedência P.

A variação observada que possibilitou a separação das progênies em dois grupos diferentes pode ser explicada pelo fato de serem progênies distintas

e pelo fato de as plantas apresentarem plasticidade foliar, ou seja, a anatomia foliar é influenciada pelas condições ambientais. Nesse sentido as folhas podem apresentar variações na sua estrutura, favorecendo a adaptabilidade das plantas a condições adversas (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

#### 4.4 Divergência genética em relação a características fisiológicas

O agrupamento das progênes quanto às características fisiológicas é apresentado na Figura 30.

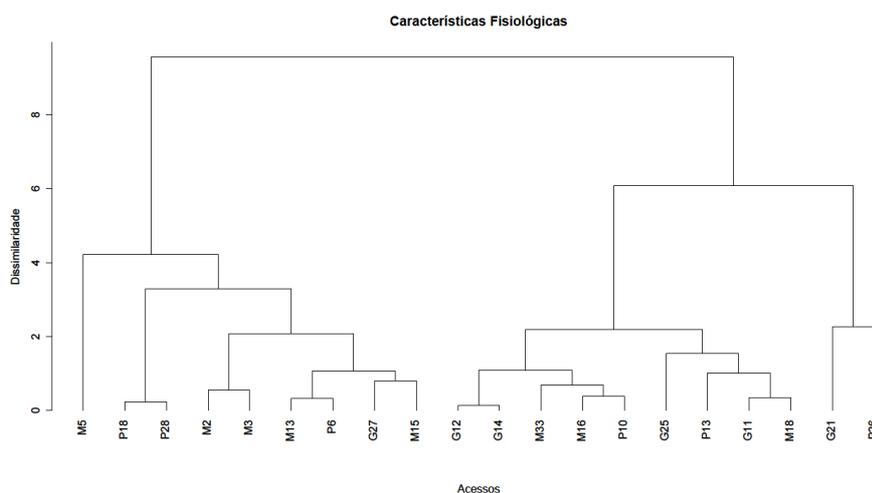


Figura 29 Dendrograma ilustrativo do agrupamento de 20 progênes de *C. arabica* L. pelo método de agrupamento de Ward, obtido a partir da distância generalizada de Mahalanobis, estimada com base em seis características fisiológicas

Observa-se pela Figura 30 que a progênie M5 foi fisiologicamente a mais dissimilar. As progênes G21 e P26 também se mostraram dissimilares. A progênie M5 foi citada nos resultados anteriores, de ordenamento das progênes, por apresentar um desempenho superior no período de seca para a variável gs. Já

a progênie P26 apresentou desempenho superior, em ambos os períodos, no ordenamento da variável fisiológica PH.

Assim como para as características anatômicas, verifica-se que as progênies correspondentes de cada procedência encontram-se dispersas no dendograma, caracterizando a existência de dissimilaridade anatômica e fisiológica entre as mesmas procedências.

Adotando um limite de similaridade em torno de 70%, verifica-se também a formação de dois grupos. O primeiro grupo contém nove progênies, sendo uma progênie da procedência G, cinco da procedência M e dois da procedência P. O segundo grupo é composto por onze progênies, onde cinco são da procedência G, três da procedência M e três da procedência P.

## **5 CONCLUSÕES**

Em geral, a variância genética é maior no período de seca, indicando que há maior variabilidade entre as progênies nesse período.

Características anatômicas e fisiológicas se mostraram eficientes como uma tecnologia para auxiliar a seleção de progênies de cafeeiro.

## REFERÊNCIAS

- ANTHONY, F. et al. Genetic diversity of wild coffee (*Coffea arabica* L.) using molecular markers. **Euphytica**, Wageningen, v. 118, n. 1, p. 53-65, 2001.
- APPEZZATO-DA-GLORIA, B.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M. (Ed.). **Anatomia vegetal**. 2. ed. Viçosa: Editora da UFV, 2012.
- 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. 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.; MAECHLER, M.; BOLKER, B. **Lme4**: linear mixed-effects models using Eigen and Eigen. R package version 0.999999-0. [S.l: s.n.], [200-]. Disponível em: <<http://CRAN.R-project.org/package=lme4>>. Acesso em: 10 dez. 2012.
- 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.
- BORGERS, M. R. T.; WISNIEWSKI, C. Comparação da morfologia foliar de espécies arbóreas de três estádios sucessionais distintos de floresta ombrófila densa (Floresta Atlântica) no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 26, n. 1, p. 61-72, mar. 2003.
- BUENO FILHO, J. S. de S.; VENCOVSKY, R. Alternativas de análise de ensaios em látex no melhoramento vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 2, p. 259-269, fev. 2000.
- CARVALHO, C. H. S. de. **Cultivares de café**: origem, características e recomendações. Brasília: Embrapa Café, 2008.
- CASTRO, E. M. de; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal**: estrutura e função de órgãos vegetativos. Lavras: Editora da UFLA, 2009.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**: volume 2. Viçosa: Editora da UFV, 2003.

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

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

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/Apr. 2004.

DUARTE, J. B.; VENCOSKY, R. Estimação e predição por modelo linear misto com ênfase na ordenação de médias de tratamentos genéticos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 109-117, jan./mar. 2001.

FAHN, A.; CUTLER, D. **Xerophytes**. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1992.

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. p. 227-254.

FERRÃO, M. A. G. et al. Divergência genética em feijoeiro em condições de inverno tropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1089-1098, ago. 2002.

FERRÃO, R. G. et al. Parâmetros genéticos em café Conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 1, p. 61-69, jan. 2008.

FISHER, R. A. The correlation between relatives on the supposition of Mendelian inheritance. **Transactions of the Royal Society**, Edinurgh, v. 52, p. 399-433, 1918.

FONSECA, A. F. A. et al. Divergência genética em café conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 599-605, Apr. 2006.

GRISI, F. A. et al. Avaliações anatômicas foliares em mudas de café 'Catuaí' e 'Siriema' submetidas ao estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1730-1736, 2008.

GUIMARÃES, P. T. G. et al. (Ed). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Editora da UFV, 1999.

HACKE, U. G.; SPERRY, J. S. Functional and ecological xylem anatomy. **Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics**, Jena, v. 4-2, p. 97-115, 2001.

HARTLEY, H. O.; RAO, J. N. K. Maximum-likelihood estimation for the mixed analysis of variance model. **Biometrika**, London, v. 54, n. 1-2, p. 93-108, June 1967.

HENDERSON, C. R. Estimation of variance and covariance components. **Biometrics**, Washington, v. 9, n. 2, p. 226-252, June 1953.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: Mc Graw Hill, 1940.

KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: EDUR, 1997.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000.

LLERAS, E. Differences in stomatal number per unit area within the same species under different microenvironmental conditions: a working hypothesis. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 7, n. 4, p. 473-476, 1977.

MEDINA FILHO, H. P.; BORDIGNON, R.; CARVALHO, C. H. S. de. Desenvolvimento de novas cultivares de café arábica. In: CARVALHO, C. H. S. de. (Ed.). **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília: Embrapa Café, 2008. p. 79-101.

MEDRI, M. E.; PEREZ, E. L. Aspectos da anatomia ecológica de folhas de *Hevea brasiliensis* Mell. Arg. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 10, n. 3, p. 463-493, 1980.

MENDES, A. N. G. et al. Métodos de avaliação de progênies de *Coffea arabica*, cultivar Catuaí. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 20, n. 3, p. 315-322, 1996.

MORGAN, J. M. Adaptation to water deficits in three grain legume species. Mechanisms of turgor maintenance. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 29, n. 2, p. 91-106, Apr. 1991.

NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 13, n. 1, p. 75-87, 2001.

PATTERSON, H. D.; THOMPSON, R. Recovery of inter-block information when block sizes are unequal. **Biometrika**, London, v. 58, n. 3, p. 545-554, Dec. 1971.

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.

PEREIRA, F. J. et al. Atividade do sistema antioxidante e desenvolvimento de aerênquima em raízes de milho 'Saracura'. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 5, p. 450-456, maio 2010.

POLO DE EXCELÊNCIA DO CAFÉ. "Big Coffee". **EPTV Sul de Minas**, Lavras, 2011. Disponível em: <<http://excelenciacafe.simi.org.br/2011/07/19/eptv-sul-de-minas-apresenta-materia-sobre-pesquisa-com-%E2%80%9Cbigo-coffee%E2%80%9D/>>. Acesso em: 29 jan. 2013.

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 the 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.

SILVA, C. A. et al. Produtividade e potencial hídrico foliar do cafeeiro 'Catuai' em função da época de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 21-25, ago. 2008.

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, 2005.

- SILVA, V. A. et al. Resposta fisiológica de clone de café Conilon sensível à deficiência hídrica enxertado em porta-enxerto tolerante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 5, p. 457-464, maio 2010.
- 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, supl. 1, p. 78-80, jul. 2007.
- 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.
- SOUZA, T. C. et al. Morpho-physiology and maize grain yield under periodic soil flooding in successive selection cycles. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 33, n. 5, p. 1877-1885, Sept. 2011.
- VOLTAN, R. B. Q.; FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C. Variação na anatomia foliar de cafeeiro submetidos a diferentes intensidade luminosas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 99-105, 1992.
- XAVIER, A. et al. Aplicação da análise multivariada da divergência genética no melhoramento de *Eucalyptus* spp. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 4, p. 495-505, 1996.