



CYNTIA STEPHÂNIA DOS SANTOS

**CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E FISIOLÓGICAS DE
Coffea arabica EM CONDIÇÕES DE CERRADO**

LAVRAS-MG

2017

CYNTIA STEPHÂNIA DOS SANTOS

**CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E FISIOLÓGICAS DE *Coffea arabica* EM
CONDIÇÕES DE CERRADO**

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.

Prof. Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes

Orientador

Dra. Milene Alves de Figueiredo Carvalho

Coorientadora

LAVRAS - MG

2017

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

Santos, Cyntia Stephânia dos.

Características anatômicas e fisiológicas de *Coffea arabica* em condições de cerrado / Cyntia Stephânia dos Santos. - 2017.

47 p. : il.

Orientador: Antônio Nazareno Guimarães Mendes.

Coorientadora: Milene Alves de Figueiredo Carvalho.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Cafeeiro. 2. Clima. 3. Adaptação. I. Mendes, Antônio Nazareno Guimarães. II. Carvalho, Milene Alves de Figueiredo. III. Título.

CYNTIA STEPHÂNIA DOS SANTOS

**CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E FISIOLÓGICAS DE *Coffea arabica* EM
CONDIÇÕES DE CERRADO**

***ANATOMICAL AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS of Coffea arabica
UNDER CERRADO CONDITIONS***

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 21 de agosto de 2017.

Dra. Milene Alves de Figueiredo Carvalho Embrapa Café

Prof. Dr. Alex Mendonça de Carvalho UNESP

Prof. Dr. Rubens José Guimarães UFLA

Prof. Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes
Orientador

LAVRAS - MG

2017

Aos meus pais, Wilson e Maria, por todo amor e incentivo em todas as etapas da minha vida.

DEDICO,

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela presença constante em minha vida.

Aos meus irmãos e toda a minha família pelo apoio durante esta trajetória.

Ao meu orientador, professor Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes, pela atenção, incentivo, ensinamentos e orientação durante este trabalho.

À minha coorientadora, pesquisadora Dra. Milene Alves de Figueiredo Carvalho, pela atenção, amizade e contribuições ao meu conhecimento.

Aos membros da banca, Dr. Rubens José Guimarães, Dr. Alex Mendonça de Carvalho, pelas contribuições.

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia, pela oportunidade de realizar o mestrado.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) pela disponibilização de sua estrutura e aos pesquisadores Gustavo Costa Rodrigues, Adriano Delly Veiga e Gabriel Ferreira Bartholo, pelas contribuições.

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

Às amigas e colegas do Laboratório de Anatomia e Fisiologia do cafeeiro do INOVACAFÉ, pela ajuda durante a condução deste trabalho.

Às amigas Janaína, Mariana, Fernanda e Nágla, pela amizade e colaborações para este trabalho.

A todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

“Há uma força motriz mais poderosa que o vapor, a eletricidade e a energia atômica: a vontade” (Albert Einstein).

RESUMO

A anatomia foliar e fisiologia podem auxiliar na identificação de cultivares mais adaptadas à determinada condição ambiental. Objetivou-se caracterizar genótipos de *Coffea arabica* no Cerrado do Planalto Central do Brasil por meio de avaliações anatômicas e fisiológicas. Avaliaram-se genótipos de cafeeiro, do Banco Ativo de Germoplasma da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Cerrados, localizado no município de Planaltina, Distrito Federal. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, com 23 genótipos e 6 repetições. Os genótipos avaliados foram: Acaiaí Cerrado MG1474, Araponga MG1, Catiguá MG1, Catiguá MG2, Catiguá MG3, Catiguá MG3 P4, Catiguá MG3 P5, Catiguá MG3 P7, Catiguá MG3 P9, Catiguá MG3 P23, Catiguá MG3 P51, Catuaí Amarelo IAC 62, Catuaí Vermelho IAC 15, Catuaí Vermelho IAC 81, Catuaí Vermelho IAC 99, Caturra Vermelho MG0187, Guatenano Colis MG0207, Mundo Novo IAC 379-19, Paraíso MG1, Pau Brasil MG1, Sacramento MG1, San Ramon MG0198 e Topázio MG-1190. Foram avaliadas as espessuras da cutícula da face adaxial, da epiderme das faces adaxial e abaxial, dos parênquimas paliçádico e esponjoso, do mesofilo, do floema, número e diâmetro dos vasos do xilema; densidade e funcionalidade estomática; índice de área foliar; índice de clorofila e trocas gasosas. Utilizaram-se análises multivariadas a fim de distinguir os genótipos e as variáveis relevantes. Houve diferença entre o comportamento dos genótipos avaliados e algumas características indicaram maior adaptabilidade de alguns genótipos às condições de cultivo. A análise de agrupamento pelos métodos *Tocher* e *UPGMA* separou os genótipos em dez grupos e os genótipos Catiguá MG1, Catiguá MG2 e Mundo Novo IAC 379-19 permaneceram em grupos isolados, sendo, assim, os mais divergentes. A análise de contribuição relativa de caracteres identificou os índices de clorofila total, b, espessura do parênquima esponjoso, espessura do mesofilo e índice de clorofila a como as variáveis que mais contribuíram para a divergência dos genótipos. Assim, conclui-se que os genótipos de *Coffea arabica* avaliados apresentam diferenças entre as características anatômicas e fisiológicas, indicando adaptação destes às condições climáticas do Cerrado do Planalto Central do Brasil. Os genótipos mais divergentes foram Mundo Novo IAC 379-19, Catiguá MG2 e Catiguá MG1, dessa forma, sendo os mais indicados para futuras hibridações em programas de melhoramento genético do cafeeiro.

Palavras-chave: Cafeeiro. Clima. Adaptação.

ABSTRACT

Leaf anatomy and physiology may help identify the cultivars that are more adapted to certain environmental conditions. This work aimed at characterizing genotypes of *Coffea arabica* in Cerrado of the Brazilian Highlands, by analyzing their anatomy and physiology. We analyzed genotypes of coffee plants from the Germplasm Bank of the Brazilian Agricultural Research Corporation (EMBRAPA Cerrados) located in the city of Planaltina, Distrito Federal. We used a fully randomized design, with 23 genotypes and 6 repetitions. The genotypes we analyzed were: Acaiá Cerrado MG1474, Araçuaia MG1, Catiguá MG1, Catiguá MG2, Catiguá MG3, Catiguá MG3 P4, Catiguá MG3 P5, Catiguá MG3 P7, Catiguá MG3 P9, Catiguá MG3 P23, Catiguá MG3 P51, Catuaí Amarelo IAC 62, Catuaí Vermelho IAC 15, Catuaí Vermelho IAC 81, Catuaí Vermelho IAC 99, Caturra Vermelho MG0187, Guatenano Colis MG0207, Mundo Novo IAC 379-19, Paraíso MG1, Pau Brasil MG1, Sacramento MG1, San Ramon MG0198 and Topázio MG-1190. We evaluated the thickness of the adaxial cuticle, the adaxial and abaxial epidermis, the spongy parenchyma and the palisade parenchyma, the mesophyll, the phloem, the number and diameter of xylem vessels; stoma density and functionality; leaf area index, amount of chlorophyll, and gas exchanges. We used multivariate analyses to differentiate the genotypes and the relevant variables. There was a difference in the behavior of the genotypes we evaluated, because some of them had characteristics that were more adapted to the cultivation conditions. The grouping analyses based on methods *Tocher* and *UPGM* separated the genotypes into ten groups, and genotypes Catiguá MG1, Catiguá MG2 and Mundo Novo IAC 379-19 remained in isolated groups, since they were the most divergent ones. The analysis of relative contribution of characteristics showed the amount of total chlorophyll, chlorophyll b, thickness of the spongy parenchyma, thickness of the mesophyll, and amount of chlorophyll a, as the variables that contributed the most with the divergence among the genotypes. Therefore, the genotypes of *Coffea arabica* we evaluated had differences regarding anatomical and physiological characteristics, showing that they adapted to the climatic conditions of Cerrado in the Brazilian Highlands. The most divergent genotypes were Mundo Novo IAC 379-19, Catiguá MG2 and Catiguá MG1; thus, they are the most suitable cultivars for future hybridizations in coffee plant breeding programs.

Keywords: Coffee plants. Climate. Adaptation.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Dendograma de 23 genótipos de *Coffea arabica* pelo método de agrupamento *UPGMA*, obtido a partir da distância generalizada de *Mahalanobis*. UFLA, 2017.....35
- Figura 2 – Dispersão de vinte e três genótipos de *Coffea arabica* pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Cerrados, e projeção espacial dos vetores das características anatômicas foliares em relação às duas primeiras variáveis canônicas. UFLA, 2017.....36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados médios de temperaturas máxima e mínima (°C), radiação (MJ m ⁻²), precipitação (mm) e umidade relativa do ar máxima e mínima (%), durante o ano de 2016.....	21
Tabela 2 – Resumo da análise de variância de 11 características anatômicas foliares (1) avaliadas em genótipos de <i>Coffea arabica</i> pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Cerrados. UFLA, 2017.....	26
Tabela 3 – Valores médios das características anatômicas foliares (µm) avaliadas em genótipos de <i>Coffea arabica</i> pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Cerrados. UFLA, 2017.	28
Tabela 4 – Resumo da análise de variância de 12 características anatômicas foliares (1) avaliadas em genótipos de <i>Coffea arabica</i> pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Cerrados. UFLA, 2017.....	29
Tabela 5 – Resumo da análise de variância da característica índice de área foliar (IAF) avaliada em 22 genótipos de <i>Coffea arabica</i> pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Cerrados. UFLA, 2017.....	30
Tabela 6 – Valores médios das características fisiológicas avaliadas, A (µmol CO ₂ m ⁻² s ⁻¹), gs (mmol H ₂ O m ⁻² s ⁻¹), Ci (µmol CO ₂ mol ⁻¹), E (mmol m ⁻² s ⁻¹), DPV (hPa), Tleaf (°C), Ci/Ca (µmol CO ₂), EUA (A/g), A/Ci, CI_a, CI_b e CI_total (ICF), IAF (m ² m ⁻²) em genótipos de <i>Coffea arabica</i> pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Cerrados. UFLA, 2017.....	32
Tabela 7 – Grupos formados de acordo com o método de <i>Tocher</i> baseado na distância (D ²) de <i>Mahalanobis</i> , de genótipos de <i>Coffea arabica</i> pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Cerrados. UFLA, 2017.....	34
Tabela 8 – Contribuição relativa das características para a divergência de genótipos de <i>Coffea arabica</i> pela distância generalizada de <i>Mahalanobis</i> . UFLA, 2017.....	37

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1	Importância econômica da cultura do café.....	14
2.2	Melhoramento genético do cafeeiro.....	14
2.3	Características anatômicas e fisiológicas de cafeeiros em função do ambiente	18
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1	Análises anatômicas	22
3.2	Análises fisiológicas.....	23
3.3	Análises estatísticas	24
3.3.1	Estudo da divergência genética.....	24
4	RESULTADOS.....	25
4.1	Características anatômicas.....	25
4.2	Características fisiológicas	29
4.3	Agrupamento pelos métodos <i>Tocher</i> , <i>UPGMA</i> e variáveis canônicas	33
4.4	Importância de caracteres	36
5	DISCUSSÃO.....	38
6	CONCLUSÃO	42
	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura tem grande importância social e econômica no Brasil. No ano de 2016, a produção de café foi de 51,37 milhões de sacas beneficiadas, sendo 43,38 milhões de sacas beneficiadas de *Coffea arabica* e 7,98 milhões de sacas beneficiadas de *Coffea canephora*. Os principais estados produtores são Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Paraná, Rondônia, Goiás, Mato Grosso e Rio de Janeiro (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2016).

Na região do Cerrado, a cafeicultura é favorecida por aspectos como a topografia e temperatura aliadas à irrigação, adubação e tecnologias de produção (FERNANDES et al., 2012). O Bioma Cerrado representa, aproximadamente, 23,92% da área total do Brasil (INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2004) e, pertencente a este Bioma, está o Nordeste de Goiás, local do presente estudo. Este Bioma se caracteriza por verão chuvoso, com alta radiação e insolação, com frequente ocorrência de veranicos e o inverno com baixas temperaturas e ausência de pluviosidade (MOREIRA, 1995).

Altas temperaturas no ambiente, mesmo quando acima de 30°C, podem não alterar taxa fotossintética de espécies do cafeeiro (DAMATTA, 2004), conferindo a elas tolerância às essas condições (DAMATTA; RAMALHO, 2006). Por apresentar essa característica de adaptação, a espécie *Coffea canephora* é recomendada para algumas regiões do Cerrado (MOREIRA, 1995), também são recomendadas cultivares como Catuaí e Mundo Novo da espécie *Coffea arabica*, por serem produtivas (FERNANDES et al., 2012; MOREIRA, 1995). Entretanto há necessidade de estudos que avaliem o desempenho de maior número de cultivares nessas condições, que aliem alta produtividade e expressão favorável a caracteres agronômicos de interesse, para uma melhor recomendação para o Cerrado do Planalto Central.

Por meio do melhoramento genético do cafeeiro, obtiveram-se cultivares com características de interesse agrônomo como produtividade, tolerância ou resistência a patógenos e qualidade de bebida. No entanto é constante a busca por genótipos adaptados a diferentes ambientes e que tenham boas características agronômicas (PETEK; SERA; FONSECA, 2008).

Por se tratar de cultura perene, a seleção de cafeeiros, em programas de melhoramento, é realizada, durante vários anos e em locais diferentes, já que a produtividade, uma das características de interesse no melhoramento, é afetada pela bienalidade, dentre outros fatores como condições climáticas, pragas, doenças e tipo do solo (CILAS; MONTAGNON; BAR-

HEN, 2010). Além disso, o cafeeiro arábica possui características como propagação por sementes e ciclo reprodutivo longo, o que aumenta os custos dos ensaios de campo e torna o ganho na seleção mais demorado (SERA, 2001).

Os estudos sobre anatomia foliar aliados aos de fisiologia do cafeeiro podem auxiliar na identificação de cultivares com características de tolerância a estresses ambientais, tolerância a patógenos, entre outras, além de auxiliar na exploração de um número maior de genótipos em programas de melhoramento genético (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2014; SILVA et al., 2013, 2015).

Nesse sentido, objetivou-se caracterizar genótipos de *Coffea arabica* por meio de avaliações anatômicas e fisiológicas e indicar os mais divergentes para futuras hibridações em programas de melhoramento genético do cafeeiro no Cerrado do Planalto Central do Brasil.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância econômica da cultura do café

O Brasil é o país maior produtor, exportador e segundo maior consumidor mundial de café (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ - ABIC, 2015). As duas principais espécies de café cultivadas, no Brasil, são *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, com área total cultivada de 2,23 milhões de hectares. O *Coffea arabica* representa 79,9%, ou seja, 1,78 milhões de hectares de lavouras de café. Já a espécie *Coffea canephora* representa 20,18% da área cultivada, com 450,84 mil hectares (CONAB, 2017).

A produção de café arábica representa 77,7% da produção do País e, em 2017, está estimada em 35,43 milhões de sacas beneficiadas. Dentre os estados produtores estão: Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Rondônia, Paraná, Rio de Janeiro, Goiás, Mato Grosso e Amazonas. O maior produtor é o estado de Minas Gerais, com produção estimada em 25,7 milhões de sacas beneficiadas (CONAB, 2017).

No agronegócio brasileiro, o café assume posição de destaque, gerando empregos em toda sua cadeia produtiva, além de ter importante função social na agricultura familiar. Em relação às exportações do agronegócio brasileiro, em 2016, o café teve uma participação de 6,4% no segmento (CONSELHO DOS EXPORTADORES DE CAFÉ DO BRASIL - CECAFÉ, 2017).

Os principais países importadores do café brasileiro são Estados Unidos, Alemanha, Itália, Japão e Bélgica. Em 2016, foram exportadas mais de 34 milhões de sacas de café, sendo 30.148.595 sacas de cafés verdes (29.568.282 sacas de arábica e 580.313 sacas de robusta). Foram exportadas 3.857.298 sacas de cafés industrializados (sendo 3.828.092 sacas de café solúvel e 29.206 sacas de café torrado e moído), que representaram aumento de 7,8% em comparação com o total exportado em 2015. Foi o maior volume exportado de café arábica e café solúvel desde o início das exportações no Brasil (CECAFÉ, 2017).

2.2 Melhoramento genético do cafeeiro

Duas fases marcaram o melhoramento genético do cafeeiro no Brasil. A primeira, considerada como melhoramento empírico, teve início com a introdução da cultivar Típica em 1727, seguida de outras introduções de cultivares exóticas como a Bourbon, em 1859 e a Sumatra, em 1896, até a década de 1930, quando os próprios cafeicultores realizavam a seleção de cafeeiros, em suas lavouras, utilizando os mutantes e recombinantes que naturalmente ocorriam. A segunda fase teve início em 1933 e é considerada como melhoramento científico, a partir da criação da Seção de Genética no Instituto Agrônomo de

Campinas – IAC, quando os pesquisadores passaram a aplicar técnicas experimentais e realizaram a seleção de cafeeiros superiores em lavouras comerciais e em populações obtidas por cruzamentos entre genótipos de interesse, o que possibilitou a obtenção de consideráveis avanços e o lançamento de novas cultivares (MENDES; GUIMARÃES, 1998).

O IAC iniciou seu programa de melhoramento genético do cafeeiro, na década de 1930, contribuindo para o lançamento das mais importantes cultivares no Brasil. Posteriormente, na década de 1970, outras instituições como a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Universidade Federal de Viçosa (UFV), Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), Fundação Procafé e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), dentre outras, contribuíram para o melhoramento genético do cafeeiro no Brasil (MENDES; GUIMARÃES, 1998).

Inicialmente, os programas de melhoramento genético do cafeeiro visavam somente ao aumento da produtividade, importante característica das cultivares melhoradas (MEDINA FILHO; BORDIGNON; CARVALHO, 2008). Em 1943, iniciou-se a seleção de cultivares do grupo Mundo Novo, oriundo do cruzamento natural entre Bourbon Vermelho e Sumatra (MATIELLO et al., 2010). Em diversos experimentos, verificaram-se que as melhores progênies de Mundo Novo eram mais produtivas que progênies de Típica, Bourbon Amarelo e Bourbon Vermelho (FAZUOLI et al., 2008).

As cultivares do grupo Mundo Novo possuem porte alto, têm alta produtividade, alto vigor vegetativo e boa qualidade de bebida. São suscetíveis à ferrugem e aos nematoides. Este grupo apresenta boa adaptação, nas regiões cafeeiras do Brasil, mantendo boas produtividades (FAZUOLI et al., 2008).

Da seleção de progênies da cultivar Mundo Novo originou-se a cultivar Acaíá, cujo significado do seu nome em tupi-guarani é de frutos com sementes grandes. A cultivar Acaíá Cerrado MG1474 é proveniente da cultivar Acaíá IAC 474-1, possui porte alto, os frutos, quando maduros, são vermelhos e grandes, a maturação é precoce, apresenta alto vigor vegetativo e boa produtividade, além de boa qualidade de bebida. É suscetível à ferrugem e aos nematoides (FAZUOLI et al., 2008; MATIELLO et al., 2010).

Outra característica desejada, em programas de melhoramento, é o porte baixo de plantas, uma vez que facilita os tratos culturais, permite o adensamento de plantas e, conseqüentemente, maior produção por área. Essa característica é controlada por alelos dominantes presentes nas cultivares Caturra (Ct), São Bernardo (Sb), Villa Lobos (Vl) e San

Ramon (Sr), que proporcionam plantas mais baixas e compactas (MEDINA FILHO; BORDIGNON; CARVALHO, 2008).

A cultivar Caturra originou-se por mutação da cultivar Bourbon Vermelho e foi o primeiro mutante de porte baixo, sendo, desta forma, utilizada em programas de melhoramento visando à transferência dessa característica (MENDES et al., 2008). Essa cultivar apresenta internódios curtos, alta produtividade, boa qualidade de bebida, maturação tardia de frutos e suscetibilidade à ferrugem e aos nematoides (FAZUOLI et al., 2008).

San Ramon é oriunda da Costa Rica e apresenta menor porte dentre as demais, baixa produtividade, além de internódios mais curtos e folhas largas e lisas (MENDES et al., 2008).

Em 1949, foi realizado o cruzamento artificial entre Caturra Amarelo IAC 476-11 e Mundo Novo IAC 374-19, dando origem às cultivares do grupo Catuaí (MATIELLO et al., 2010), gerando cultivares de frutos amarelos e vermelhos. As plantas são vigorosas e apresentam porte baixo, alta produtividade e boa qualidade de bebida. São suscetíveis à ferrugem e aos nematoides (CARVALHO et al., 2008).

Em razão da alta produtividade das cultivares Mundo Novo e Catuaí, na década de 1970, recomendou-se a renovação das lavouras cafeeiras, proposta pelo Instituto Brasileiro do Café (IBC). Dessa forma, estas cultivares passaram a predominar nas lavouras cafeeiras do Brasil (MATIELLO et al., 2010).

Posteriormente, as cultivares Catuaí Amarelo e Mundo Novo foram utilizadas para cruzamento artificial pelo IAC, obtendo-se os híbridos H5010 e H5002, que foram melhorados pelas instituições EPAMIG e UFLA, em Minas Gerais e deram origem às cultivares Rubi e Topázio, uma de frutos de coloração vermelha e a outra com frutos de coloração amarela, respectivamente. O híbrido 5010-5 deu origem à cultivar Ouro Verde, obtida pelo IAC (MATIELLO et al., 2010). A cultivar Topázio MG 1190 possui porte baixo, tem alta produtividade, alto vigor vegetativo e boa qualidade de bebida. É suscetível à ferrugem e aos nematoides (CARVALHO et al., 2008).

Com o avanço da genética e dos métodos de seleção, além da produtividade, outras características foram objetivadas, nos programas de melhoramento do cafeeiro, tais como resistência a pragas e doenças, que afetavam a produtividade (MEDINA FILHO; BORDIGNON; CARVALHO, 2008).

Neste sentido, buscaram-se materiais com características de resistência, para a realização de cruzamentos, como o Híbrido de Timor, oriundo do cruzamento natural entre *Coffea arabica* e *C. canephora*, utilizado como fonte de resistência às doenças. Na população de Híbrido de Timor, existem genótipos com variabilidade genética para a resistência à

ferrugem, à antracnose dos frutos do cafeeiro, à bacteriose e aos nematoides das galhas (MENDES et al., 2008).

Várias cultivares resistentes à ferrugem do cafeeiro, causada pelo fungo *Hemileia vastatrix* Berk. et Br., são derivadas do Híbrido de Timor, sendo que as seguintes foram desenvolvidas pelo IAC: Tupi IAC 1669-33, Tupi RN IAC 1669-13, Tupi Amarelo IAC 5162, Obatã IAC 1669-20 e Obatã Amarelo IAC 4739. Pelo IAPAR: IAPAR 59, IPR 97, IPR 98, IPR 99, IPR 104, IPR 107 e IPR 108. Pela EPAMIG: Oeiras MG 6851, Paraíso MG H 419-1, Araponga MG1, Catiguá MG1, MG2 e MG3, Pau Brasil MG1 e Sacramento MG1. Pelo MAPA/ Fundação PROCAFE: Acauã, IBC – Palma 2, Katipó, IBC Palma 1 e Sabiá Tardio (MENDES et al., 2008).

As cultivares Araponga MG1, o grupo Catiguá, Paraíso, Pau Brasil MG1 e Sacramento MG1 são oriundas do cruzamento artificial entre Catuaí e Híbrido de Timor. Estas cultivares possuem porte baixo e são altamente resistentes à ferrugem, além de possuírem fenótipo favorável para outros caracteres agronômicos de interesse (MATIELLO et al., 2010).

Araponga MG1 possui alto vigor vegetativo, boa arquitetura de plantas e qualidade de bebida, além de alta produtividade (CARVALHO et al., 2008). O grupo de cultivares Catiguá (MG1, MG2, MG3) apresenta resistência às principais raças do fungo *Hemileia vastatrix* Berk. et Br. A cultivar Catiguá MG3 tem resistência ao nematoide *Meloidogyne exigua* e Catiguá MG2, excelente qualidade de bebida. As folhas são ligeiramente lanceoladas, os frutos são graúdos e, quando maduros, possuem coloração vermelha, têm alta produtividade e bom vigor vegetativo, além de boa qualidade de bebida (CARVALHO et al., 2008).

A cultivar Paraíso MG H 419-1, apresenta brotos com coloração verde, a coloração dos frutos, quando maduros, é amarela, vigor vegetativo médio, boa qualidade de bebida e alta produtividade. Possui plantas resistentes e suscetíveis aos nematoides das galhas, indicando que há segregação para esta característica (CARVALHO et al., 2008).

Pau Brasil MG1 tem alta produtividade, alto vigor vegetativo, boa qualidade de bebida e arquitetura de plantas. Já a cultivar Sacramento MG1 apresenta médio vigor vegetativo, arquitetura mais aberta das plantas, boa qualidade de bebida e alta produtividade, além de boa capacidade produtiva inicial (FAZUOLI et al., 2008).

Diante da diversidade de materiais, é necessário avaliar as cultivares, em vários locais de cultivo, a fim de verificar em quais ambientes se adaptam melhor, bem como é necessário considerar o nível tecnológico do produtor, sistema de cultivo, tratamentos culturais, condições

edafoclimáticas para a recomendação de uma cultivar em uma dada região de cultivo (MEDINA FILHO; BORDIGNON; CARVALHO, 2008).

Atualmente, a produtividade ainda é o foco do melhoramento, aliada a outras características, tais como: resistência múltipla a patógenos, tolerância ao déficit hídrico, a temperaturas elevadas e qualidade de bebida (VENTURIN et al., 2013). Neste sentido, os bancos de germoplasma podem auxiliar como fonte de variabilidade genética da espécie. No Brasil, cerca de 20% das espécies do gênero *Coffea* estão preservadas em bancos de germoplasma, além de híbridos inter e intraespecíficos (EIRA et al., 2007).

Dentre os materiais disponíveis da espécie *C. arabica* estão Laurina, que possui menor quantidade de cafeína; Erecta, com ramos plagiotrópicos eretos; Semperflorens, com floração contínua; espécies como *C. racemosa*, com resistência ao bicho mineiro, *C. canephora*, *C. dewevrei*; além de genótipos como Catuaí Arrepiado, IAPAR-59 Polisperma, Catuaí Erecta, IAPAR-59 Erecta, Catuaí Semperflorens, Acaiá Semperflorens, Guatenano resistente à ferrugem, Pacamara Doce, dentre outros (EIRA et al., 2007; MEDINA FILHO; BORDIGNON; CARVALHO, 2008).

A cultivar Guatenano é originária da Guatemala, supostamente resultante de um cruzamento natural entre Pache Comum e Caturra. Os frutos são de coloração vermelha, de tamanho grande, folhas elípticas onduladas e de cutícula áspera. Apresenta certa tolerância à *Phoma*. Possui porte baixo com entrenós muito curtos, a coloração dos brotos pode ser verde ou bronzeada. Altura variando de 1,20 a 1,80 metros, adapta-se bem à altitude acima de 1000 metros e em temperaturas mais amenas.¹

A fim de distinguir esses materiais, existem vários trabalhos visando ao pré-melhoramento do cafeeiro, avaliando interações entre genótipos e ambientes, pela avaliação de características morfológicas, fisiológicas, citológicas e moleculares. Esta caracterização certamente auxiliará o desenvolvimento de novas cultivares (ANTHONY et al., 2002; MEDINA FILHO; BORDIGNON; CARVALHO, 2008).

2.3 Características anatômicas e fisiológicas de cafeeiros em função do ambiente

A folha é um dos principais órgãos da planta e exerce, entre outras funções, produção de energia e trocas gasosas (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Os fatores ambientais como disponibilidade hídrica, luminosidade, temperatura e disponibilidade de CO₂ podem alterar a anatomia foliar, a espessura e dimensões dos tecidos, bem como a fisiologia da planta (BATISTA et al., 2010; CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009; COSTA; MARENCO, 2007).

¹ Informação pessoal fornecida pelo pesquisador Gabriel Ferreira Bartholo, da Embrapa-Café.

Estas modificações representam adaptação da planta a diferentes ambientes (MATOS et al., 2009).

Plantas de *Coffea arabica* cultivadas a pleno sol, quando comparadas a plantas sombreadas, apresentaram maiores expressões para taxa fotossintética, espessura do limbo foliar, parênquima paliçádico, densidade estomática, espessura da nervura, bem como menor condutância estomática e transpiração. Estas características indicam adaptação à radiação e temperatura (BALIZA et al., 2012; BATISTA et al., 2010; NASCIMENTO et al., 2006; QUEIROZ-VOLTAN et al., 2014).

Em estudo avaliando genótipos de café em dois locais, observou-se que, em Patrocínio-MG, onde há maior radiação e déficit hídrico, em relação a Três Pontas-MG, as cultivares Catiguá MG2, Paraíso MG H 419-1 e Sacramento apresentaram características anatômicas favoráveis à adaptação das plantas a estas condições. Já em Três Pontas-MG, a cultivar Catiguá MG3 apresentou maior número e diâmetro dos vasos do xilema, espessura da epiderme adaxial, parênquima paliçádico, mesofilo e densidade estomática; características que indicam adaptabilidade desta cultivar. De maneira geral, as cultivares avaliadas apresentaram interação com o ambiente, sugerindo sua adaptação às condições ambientais (MACHADO, 2014).

Nas condições climáticas de Lavras-MG, onde a temperatura média anual é de 19,3°C e a precipitação de 1530 mm (KÖPPEN, 1948), as cultivares Araçuaia MG1, Catiguá MG1, Catiguá MG2, Paraíso MG1 e Topázio MG 1190 permaneceram nos dois grupos com maiores valores de características anatômicas foliares e fisiológicas como funcionalidade estomática, eficiência do uso da água, taxa fotossintética líquida e índice de área foliar associadas a altas produtividades (REIS, 2016).

Sob condições de temperatura elevada, a cultivar IAPAR 59 apresentou modificações na estrutura foliar, ocorrendo danos na parede celular, no mesofilo e modificações na composição e organização de polissacarídeos. Observou-se, no parênquima paliçádico, separação das células as quais tornaram-se mais finas, além de danos nos cloroplastos (LIMA et al., 2013).

Segundo Kumar e Tieszen (1980), a temperatura adequada para o cultivo do cafeeiro está entre 20 a 24°C, na média anual, em que se observou melhor desempenho fotossintético. No entanto estudos recentes mostraram que não houve redução da taxa fotossintética até a temperatura de 37°C (RODRIGUES et al., 2016).

Dessa forma, nota-se que, sob condições de estresse ambiental, como alta radiação e temperatura elevada, algumas cultivares de café desenvolvem mecanismos de adaptação, para

sua sobrevivência, como modificações anatômicas e fisiológicas (BATISTA et al., 2010; KUMAR; TIESZEN, 1980; RODRIGUES et al., 2016).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas plantas de cafeeiros de cultivares da espécie *Coffea arabica* existentes no Banco Ativo de Germoplasma de Café da Embrapa Cerrados, instalado em outubro de 2010, no campo experimental, localizado em Planaltina, Distrito Federal, Brasil. O espaçamento utilizado foi de 3,8 x 0,7 m. Os tratos culturais seguiram as recomendações técnicas usuais para a cultura do cafeeiro na região (adubação, manejo fitossanitário, desbrotas, controle mecânico e/ou manual das plantas daninhas). A irrigação é realizada por sistema de pivô central, com turno de rega a cada 5 dias e sem suspensão da irrigação.

O clima da área, de acordo com classificação de Köppen (1948), é do tipo Aw e a altitude é de 1000m. A área é plana de Latossolo Vermelho Escuro com textura argilosa e apresenta média anual de precipitação de 1600 mm, com duas estações típicas de períodos chuvosos e de seca com temperatura média anual de 22°C.

No ano de avaliação do presente trabalho (2016), observou-se baixa umidade relativa do ar, alta temperatura e baixa pluviosidade na maioria dos meses do ano. Foram registradas médias anuais de temperatura máxima de 29,6°C e mínima de 16,5°C, radiação média de 18,78 MJ m⁻², precipitação anual de 1178 mm e umidade relativa máxima de 86,26% e mínima de 40,90% (TABELA 1).

Tabela 1 – Dados médios de temperaturas máxima e mínima (°C), radiação (MJ m⁻²), precipitação (mm) e umidade relativa do ar máxima e mínima (%), durante o ano de 2016.

Mês	Tmin	Tmax	Radiação	Precip	UR MIN	URMAX
1	18,23	27,09	16,74	354,50	61,35	97,40
2	17,21	30,65	22,40	47,80	39,93	93,48
3	18,13	29,57	18,71	53,00	45,78	92,75
4	16,98	30,73	19,47	30,60	35,56	83,71
5	15,84	29,60	17,87	23,20	35,98	85,93
6	13,89	28,35	16,40	7,50	33,09	82,01
7	13,17	29,05	18,38	0,00	27,06	76,78
8	14,65	30,34	18,99	5,90	26,93	75,57
9	16,71	32,17	20,20	11,60	24,17	72,69
10	18,01	31,01	19,49	91,50	35,47	85,19
11	17,75	28,17	17,62	327,00	79,02	95,46
12	17,41	28,76	21,33	225,50	46,48	94,16
Média	16,50	29,62	18,97	98,18	40,90	86,26

Fonte: Estação Climatológica CPAC/PLANALTINA.

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, com 23 genótipos e 6 repetições. Foram avaliados os genótipos de *Coffea arabica*: Acaia Cerrado MG1474, Araponga MG1, Catiguá MG1, Catiguá MG2, Catiguá MG3 sem marcação (S/M), Catiguá MG3 P4, Catiguá MG3 P5, Catiguá MG3 P7, Catiguá MG3 P9, Catiguá MG3 P23, Catiguá MG3 P51, Catuaí Amarelo IAC 62, Catuaí Vermelho IAC 15, Catuaí Vermelho IAC 81, Catuaí Vermelho IAC 99, Caturra Vermelho MG0187, Guatenano Colis MG0207, Mundo Novo IAC 379-19, Paraíso MG1, Pau Brasil MG1, Sacramento MG1, San Ramon MG0198 e Topázio MG-1190, todos introduzidos da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG e que estão em processo de avaliação pelo programa de melhoramento da Embrapa Cerrados. As progênies identificadas como Catiguá MG3, seguidas da letra “P”, correspondem à descendência de plantas individuais selecionadas em experimento instalado em Turmalina-MG.

Para as análises das características anatômicas e fisiológicas, em junho de 2016, foram selecionadas folhas completamente expandidas, do terceiro ou quarto par, no terço médio dos ramos plagiotrópicos de seis plantas de cada genótipo.

3.1 Análises anatômicas

As folhas coletadas foram fixadas em álcool 70% ($v v^{-1}$) (JOHANSEN, 1940) e, após 72 horas, colocadas em nova solução de álcool 70% ($v v^{-1}$) visando à conservação do material, em temperatura ambiente até a data das análises.

O material vegetal foi desidratado em série etílica, após a desidratação, foi incluído em metacrilato (metodologia conforme o fabricante) e seccionado com cerca de 8 μm de espessura, com o auxílio de um micrótomo rotativo, obtendo-se secções transversais das folhas. As secções obtidas foram coradas com azul de toluidina (O'BRIEN; FEDER; MCCULLY, 1964) e as lâminas foram montadas, utilizando o Entelan como meio de montagem. As secções paradérmicas foliares foram obtidas por meio da impressão da epiderme pelo método impressão com adesivo instantâneo universal (éster de cianoacrilato) (Super Bonder®) (SEGATTO et al., 2004).

As lâminas foram observadas e fotografadas em microscópio óptico, modelo Olympus BX 60, acoplado à câmera digital Canon A630 para a captura das imagens. Para cada repetição dos tratamentos, foram feitas doze fotografias, nove de lâminas contendo secções transversais (três imagens da nervura principal, três do limbo foliar e três da cutícula da epiderme da face adaxial) e três de lâminas com secções paradérmicas, sendo sempre de secções diferentes.

As imagens foram analisadas com o software específico, para análise de imagens UTHSCSA-Imagetool, versão 3.0 (UTHSCSA..., 2017).

As características avaliadas, nas secções transversais, foram: espessura da cutícula da face adaxial (ECA- μm), espessura da epiderme da face adaxial (EAD- μm), espessura do parênquima paliçádico (EPP- μm), espessura do parênquima esponjoso (EPE- μm), espessura do mesofilo (MES- μm), espessura da epiderme da face abaxial (EAB- μm), número de vasos do xilema (NVX), diâmetro dos vasos do xilema (DVX- μm) e espessura do floema (EFL- μm).

Para as secções paradérmicas, foram analisados: densidade estomática (DEN - número de estômatos/ mm^2) e funcionalidade estomática (FUN- relação diâmetro polar/diâmetro equatorial dos estômatos).

3.2 Análises fisiológicas

Para a avaliação das trocas gasosas, utilizou-se um sistema portátil de análise de gases infravermelho (IRGA LICOR – 6400XT). Foram avaliados a condutância estomática ($\text{gs} - \text{mol H}_2\text{O m}^{-1} \text{s}^{-1}$), taxa transpiratória ($E - \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), taxa fotossintética líquida ($A - \mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e eficiência no uso da água (EUA - $\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}$) (A/gs) (ZHANG et al., 2001), carbono interno ($C_i - \mu\text{mol CO}_2 \text{mol}^{-1}$), concentração intercelular de CO_2 no mesofilo sobre a concentração de CO_2 externa atual (relação $C_i/C_a - \mu\text{mol CO}_2$), déficit de pressão de vapor (DPV - hPa), temperatura foliar ($T_{\text{leaf}} - ^\circ\text{C}$) e eficiência de carboxilação (A/C_i). As avaliações foram realizadas, entre 8 e 11 horas da manhã, sob luz saturante ($1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$).

A determinação indireta dos teores relativos das clorofilas a, b e total foram obtidas, por meio do medidor portátil de clorofila ClorofiLOG (Falker Automação Agrícola, Brasil), que fornece valores denominados índices de clorofila Falker (ICF) proporcionais à absorvância das clorofilas. O ClorofiLOG constitui um equipamento eficaz na determinação indireta dos teores relativos das clorofilas a, b e total (BARBIERI JÚNIOR et al., 2012).

As medições de índice de área foliar- IAF (m^2/m^2) foram obtidas, por meio da utilização do AccuPAR PAR/LAI Ceptometer, modelo LP-80, fabricado pela Decagon Devices, Inc, Pullman, WA, USA, realizando medidas de 3 plantas e, em cada planta, realizadas 6 medidas da radiação interceptada, posicionando-se a barra de sensores abaixo do dossel em 3 posições, de cada lado do ramo ortotrópico. Em todas as medidas, foi utilizado um sensor externo de PAR conectado ao LP-80 e posicionado fora das parcelas experimentais.

3.3 Análises estatísticas

As análises dos dados foram realizadas no programa Genes (CRUZ, 2008) e as médias obtidas foram comparadas entre si pelo teste Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Durante a condução do experimento, a característica índice de área foliar (IAF) não foi avaliada no genótipo Araponga MG1. Assim sendo, essa característica não foi utilizada nas análises multivariadas, que consideraram os 23 genótipos.

3.3.1 Estudo da divergência genética

Para o estudo da divergência genética entre os genótipos, foi feita uma matriz de distância genética, baseada na distância generalizada de *Mahalanobis*. Procedeu-se aos agrupamentos pelo método de otimização *Tocher* (RAO, 1952), o hierárquico de agrupamento médio entre grupos *Unweighted Pair-Group Method Using Arithmetic Averages (UPGMA)* e agrupamento pelas variáveis canônicas.

No gráfico gerado na análise de agrupamento por variáveis canônicas, identificou-se o agrupamento de otimização *Tocher*, a fim de verificar concordância ou não entre os métodos utilizados para o estudo da divergência genética.

A importância relativa de caracteres foi calculada pelo método proposto por Singh (1981), baseado na distância generalizada de *Mahalanobis*.

4 RESULTADOS

4.1 Características anatômicas

De acordo com a análise de variância, as características anatômicas apresentaram diferenças significativas, com exceção da espessura do parênquima paliçádico (TABELA 2).

Tabela 2 – Resumo da análise de variância de 11 características anatômicas foliares ⁽¹⁾ avaliadas em genótipos de *Coffea arabica* pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Cerrados. UFLA, 2017.

	QUADRADOS MÉDIOS											
	GL	ECA	EAD	EPP	EPE	MÊS	EAB	EFL	DVX	NVX	FUN	DEN
Genótipos	22	0,41**	32,03**	110,79	2746,37**	2597,35**	14,67**	191,98**	11,54**	2061,93**	0,07**	1864,49**
Resíduo	115	0,1	8,88	80,62	844,31	847,06	4,01	42,49	2,16	502,91	0,01	722,57
Média		4,35	28,34	62,04	240,60	178,56	17,37	61,43	16,50	130,35	1,90	190,69
CV (%)		7,51	10,51	14,47	12,44	16,30	11,54	11,40	9,21	17,69	5,20	14,05

Fonte: Da autora (2017).

⁽¹⁾: ECA – Espessura da cutícula da face adaxial, EAD – Espessura da epiderme da face adaxial, EPP- Espessura do parênquima paliçádico, EPE – Espessura do parênquima esponjoso, MES – Espessura do mesofilo, EAB- Espessura da epiderme da face abaxial, EFL- espessura do floema, NVX- número de vãos do xilema, DVX- diâmetro de vasos do xilema, FUN- funcionalidade estomática, DEN- densidade estomática.

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios das características anatômicas foliares referentes aos genótipos avaliados. Maiores valores médios de espessura da epiderme da face adaxial e abaxial foram observadas nos genótipos do grupo Catiguá com exceção do Catiguá MG3 sem marcação (S/M); Acaiá Cerrado MG 1474, Catuaí Amarelo IAC 62, Catuaí Vermelho IAC 99, Catuaí Vermelho IAC 15, Guatenano Colis MG0207, Paraíso MG1, Pau Brasil MG1 e Sacramento MG1 (TABELA 3).

Para as características espessura do parênquima esponjoso e mesofilo, maiores valores médios foram encontrados nos genótipos Araponga MG1, Catiguá MG3 P4, Catiguá MG3 P5, Catuaí Amarelo IAC 62, Catuaí Vermelho IAC 15, Catuaí Vermelho IAC 99, Guatenano Colis MG0207, Pau Brasil MG1 e Sacramento MG1 (TABELA 3).

Para os vasos condutores, espessura do floema e diâmetro do xilema, maiores valores médios destas características foram encontrados nos genótipos Catiguá MG1, Catiguá MG2, Catiguá MG3 S/M, Catiguá MG3 P23, Catiguá MG3 P5, Catiguá MG3 P7, Catiguá MG3 P9, Catuaí Amarelo IAC 62, Paraíso MG1 (TABELA 3).

O genótipo Catiguá MG3 S/M apresentou maiores valores médios para a espessura do floema, diâmetro e número de vasos do xilema (TABELA 3).

Quanto ao número de vasos do xilema, maiores valores médios foram observados nos genótipos Araponga MG1, Catuaí Vermelho IAC 81, Catuaí Vermelho IAC 99, Catuaí Vermelho IAC 15 (TABELA 3).

O genótipo Paraíso MG1 apresentou maior valor médio para a característica funcionalidade estomática em relação aos demais genótipos (TABELA 3).

Maior densidade estomática foi encontrada nos genótipos Araponga MG1, Catiguá MG1, Catiguá MG3 P23, Catiguá MG3 P51, Catuaí Vermelho IAC 81, Catuaí Vermelho IAC 99, Catuaí Vermelho IAC 15, Caturra Vermelho MG0187, Guatenano Colis MG0207, Pau Brasil MG1 e Topázio MG1190 (TABELA 3).

Tabela 3 – Valores médios das características anatômicas foliares (μm) avaliadas em genótipos de *Coffea arabica* pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Cerrados. UFLA, 2017.

Genótipo	ECA	EAD	EPP	EPE	MES	EAB	EFL	DVX	NVX	FUN	DEN
Acaia Cerrado MG 1474	4,44 b	28,86 a	66,22 a	178,73 b	244,95 a	17,07 a	54,01 b	14,63 b	131,83 b	1,95 b	187,24 b
Araponga MG1	4,34 c	25,52 b	71,97 a	213,91 a	285,88 a	14,82 b	71,23 a	15,69 b	150,72 a	1,87 c	203,54 a
Catiguá MG1	4,65 b	30,60 a	64,22 a	159,38 b	223,60 b	19,72 a	63,98 a	17,85 a	113,39 c	1,85 c	200,28 a
Catiguá MG2	4,98 a	30,62 a	62,58 a	148,81 b	211,40 b	17,84 a	61,21 a	17,69 a	132,83 b	1,94 b	183,32 b
Catiguá MG3 P4	4,60 b	29,96 a	66,40 a	185,08 a	251,48 a	19,31 a	62,81 a	16,18 b	135,06 b	1,80 c	183,97 b
Catiguá MG3 P5	4,30 c	29,71 a	63,79 a	193,92 a	257,71 a	18,11 a	60,26 a	17,54 a	132,61 b	1,83 c	182,67 b
Catiguá MG3 P7	4,51 b	29,09 a	55,19 a	183,24 a	238,43 b	18,49 a	59,98 a	18,49 a	126,94 b	1,83 c	178,10 b
Catiguá MG3 P9	4,20 c	31,21 a	54,65 a	177,27 a	231,92 b	19,93 a	59,41 a	18,08 a	98,39 c	2,00 b	189,84 b
Catiguá MG3 P23	4,25 c	28,09 a	63,45 a	179,98 b	243,43 a	17,45 a	60,06 a	17,53 a	134,11 b	1,85 c	209,42 a
Catiguá MG3 P51	4,18 c	30,74 a	60,41 a	165,65 b	226,05 b	17,61 a	51,09 b	15,06 b	109,56 c	1,90 b	197,67 a
Catiguá MG3 S/M	4,23 c	26,91 b	62,09 a	172,54 b	234,63 b	18,13 a	64,39 a	16,74 a	156,89 a	1,99 b	187,24 b
Catuaí Amarelo IAC 62	4,19 c	28,99 a	58,12 a	219,39 a	277,52 a	17,84 a	65,53 a	17,87 a	136,17 b	1,90 b	187,24 b
Catuaí Vermelho IAC 15	4,53 b	29,67 a	67,53 a	202,77 a	270,29 a	17,88 a	71,84 a	16,02 b	171,00 a	1,89 c	202,24 a
Catuaí Vermelho IAC 81	4,39 c	25,40 b	61,79 a	161,08 b	222,87 b	14,60 b	67,03 a	16,15 b	154,06 a	1,98 b	214,64 a
Catuaí Vermelho IAC 99	4,44 b	27,97 a	59,04 a	190,23 a	249,27 a	16,75 a	64,38 a	15,57 b	153,39 a	1,91 b	197,02 a
Caturra Vermelho MG 0187	4,32 c	25,58 b	63,70 a	160,10 b	223,80 b	15,30 b	64,27 a	15,33 b	128,89 b	1,86 c	208,76 a
Guatenano Colis MG0207	4,35 c	27,67 a	53,70 a	205,02 a	258,71 a	17,46 a	65,04 a	15,89 b	133,17 b	1,93 b	204,85 a
Mundo Novo IAC 379-19	4,80 a	23,34 b	57,71 a	162,24 b	219,95 b	15,69 b	52,86 b	15,63 b	108,67 c	1,99 b	180,06 b
Paraíso MG1	4,25 c	33,00 a	60,42 a	173,28 b	233,70 b	18,12 a	61,05 a	19,11 a	113,67 c	2,29 a	147,44 b
Pau Brasil MG1	4,02 c	28,41 a	63,71 a	194,70 a	258,42 a	18,52 a	64,65 a	17,01 a	124,06 c	1,78 c	219,85 a
Sacramento MG1	3,69 c	28,62 a	63,44 a	185,63 a	249,07 a	18,16 a	62,10 a	17,24 a	116,06 c	1,94 b	157,23 b
San Ramon MG 0198	4,37 c	25,46 b	63,38 a	137,40 b	200,77 b	14,20 b	51,90 b	13,89 b	101,50 c	1,84 c	167,01 b
Topázio MG 1190	4,17 c	26,44 b	63,45 a	156,67 b	220,12 b	16,67 a	53,84 b	14,48 b	135,28 b	1,77 c	196,37 a

Fonte: Da autora (2017).

Médias seguidas da mesma letra na coluna pertencem a um mesmo grupo, de acordo com o critério de agrupamento de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

4.2 Características fisiológicas

Na Tabela 4, é apresentada a análise de variância para as características fisiológicas, conforme a análise todas características apresentaram diferença significativa.

Tabela 4 – Resumo da análise de variância de 12 características anatômicas foliares ⁽¹⁾ avaliadas em genótipos de *Coffea arabica* pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Cerrados. UFLA, 2017.

QUADRADOS MÉDIOS													
	GL	A	gs	Ci	E	DPV	Tleaf	Ci/Ca	EUA	A/Ci	Cl_a	Cl_b	Cl_total
Genótipos	22	20,18**	0,01**	14566,56**	0,87**	2,89**	45,37**	0,09**	3940,27**	0,001**	1403,00**	9571,88**	15856,95**
Resíduo	115	1,98	0,0006	1986,03	0,18	0,01	0,34	0,01	739,90	0,0006	162,57	283,55	587,41
Média		7,40	0,08	200,88	1,60	2,02	26,15	0,53	102,02	0,04	461,94	272,82	734,76
CV (%)		18,34	29,20	22,09	24,62	6,51	3,02	17,97	17,88	45,46	2,75	6,40	3,36

Fonte: Da autora (2017).

(1) A – taxa fotossintética líquida, gs- condutância estomática, Ci – concentração de carbono interno, E- taxa transpiratória, DPV – déficit de pressão de vapor, Tleaf- Temperatura foliar, Ci/Ca - concentração intercelular de CO₂ no mesofilo sobre a concentração de CO₂ externa atual, EUA- eficiência do uso da água, A/Ci – eficiência de carboxilação, Cl_a- índice de clorofila a, Cl_b – índice de clorofila b, Cl_total – índice de clorofila total.

Para a característica índice de área foliar, pela não avaliação no genótipo Araponga MG1, a análise de variância foi realizada, separadamente e observou-se diferença significativa entre os genótipos (TABELA 5).

Tabela 5 – Resumo da análise de variância da característica índice de área foliar (IAF) avaliada em 22 genótipos de *Coffea arabica* pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Cerrados. UFLA, 2017.

Quadrados Médios		
	GL	IAF
Genótipos	21	3,95**
Resíduo	110	0,65
Média		6,81
CV (%)		11,37

Fonte: Da autora (2017).

Na Tabela 6, estão apresentados os valores médios de características fisiológicas, referentes aos genótipos avaliados. Os genótipos Catiguá MG1, Catiguá MG3 P5 e Catiguá MG3 P51 apresentaram maior taxa fotossintética líquida (A) associada ao valor acima da média dos demais genótipos para condutância estomática (gs), concentração de carbono interno (Ci), maior concentração intercelular de CO₂ no mesofilo sobre a concentração de CO₂ externa atual (Ci/Ca) e índice de área foliar (IAF) em relação aos demais genótipos (TABELA 6).

Para a taxa transpiratória (E), maiores valores médios foram observados nos genótipos Catiguá MG3 P51 e Pau Brasil MG1 associados à maior taxa fotossintética líquida (A) em relação à média dos demais genótipos (TABELA 6).

Os genótipos Catuaí Vermelho IAC 99, Catuaí Vermelho IAC 15 e Sacramento MG1 apresentaram maior déficit de pressão de vapor (DPV) e temperatura foliar (Tleaf) associados à menor condutância estomática (gs), taxa transpiratória (E), taxa fotossintética líquida (A), eficiência de carboxilação e menor concentração de carbono interno (Ci) (TABELA 6).

O genótipo Catiguá MG3 P23 destacou-se por apresentar maior eficiência do uso da água (EUA) em relação aos demais (TABELA 6).

Já para a característica eficiência de carboxilação (A/Ci), maiores valores médios foram encontrados nos genótipos Araponga MG1, Catiguá MG3 P23, Catiguá MG3 P4, Catiguá MG3 P9, Catuaí Amarelo IAC 62, Mundo Novo IAC 379-19 (TABELA 6).

Maiores índices de clorofila a, b e total foram observados nos genótipos Catuaí Vermelho IAC 81, Mundo Novo IAC 379-19 em relação aos demais. Já os genótipos Catuaí Amarelo IAC 62 e Caturra Vermelho MG0187 apresentaram maiores índices de clorofila b e total em relação à média dos demais genótipos (TABELA 6).

Tabela 6 – Valores médios das características fisiológicas avaliadas, A ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), gs ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Ci ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), E ($\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), DPV (hPa), Tleaf ($^{\circ}\text{C}$), Ci/Ca ($\mu\text{mol CO}_2$), EUA (A/gs), A/Ci, Cl_a, Cl_b e Cl_total (ICF), IAF ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$) em genótipos de *Coffea arabica* pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Cerrados. UFLA, 2017.

Genótipo	A	gs	Ci	E	DPV	Tleaf	Ci/Ca	EUA	A/Ci	cl_a	cl_b	cl_total	IAF
Acaiá Cerrado MG 1474	5,60 d	0,06 d	209,89 c	1,19 c	1,88 g	27,37 c	0,54 b	104,20 b	0,03 b	464,67 b	267,83 c	732,50 c	6,98 a
Araponga MG1	7,43 c	0,07 c	171,66 c	1,73 c	2,08 e	24,88 e	0,47 b	104,06 b	0,06 a	439,83 c	229,17 e	669,00 e	-
Catiguá MG1	10,58 a	0,16 b	276,21 a	1,48 c	0,83 k	21,15 h	0,71 a	66,00 c	0,04 b	458,00 b	252,33 d	710,33 d	7,56 a
Catiguá MG2	8,01 c	0,08 c	201,38 c	1,44 c	1,69 h	23,96 f	0,52 b	106,70 b	0,04 b	452,50 c	271,50 c	724,00 c	7,23 a
Catiguá MG3 P4	7,28 c	0,06 d	140,35 d	1,55 c	2,17 e	24,94 e	0,40 c	113,69 b	0,07 a	448,00 c	250,83 d	698,83 d	6,56 b
Catiguá MG3 P5	11,13 a	0,16 b	263,75 a	1,97 b	1,10 j	23,64 f	0,68 a	70,78 c	0,04 b	465,83 b	244,50 d	710,33 d	7,40 a
Catiguá MG3 P7	8,40 b	0,10 c	227,87 b	1,61 c	1,46 i	25,62 d	0,59 a	92,61 b	0,04 b	473,67 a	264,50 c	738,17 c	7,77 a
Catiguá MG3 P9	6,45 c	0,05 d	142,51 d	1,46 c	2,46 c	26,69 d	0,39 c	122,00 b	0,06 a	484,33 a	307,83 b	792,17 b	6,83 a
Catiguá MG3 P23	7,29 c	0,05 d	103,90 d	1,46 c	2,29 d	26,25 d	0,28 d	156,38 a	0,08 a	449,17 c	258,50 d	707,67 d	6,01 b
Catiguá MG3 P51	10,63 a	0,19 a	281,60 a	2,42 a	1,18 j	24,22 e	0,73 a	59,08 c	0,04 b	463,33 b	247,00 d	710,33 d	7,27 a
Catiguá MG3 S/M	7,17 c	0,07 d	176,54 c	1,93 b	2,60 c	28,07 c	0,47 b	109,33 b	0,04 b	461,33 b	268,67 c	730,00 c	5,91 b
Catuaí Amarelo IAC 62	6,35 d	0,07 d	219,50 c	1,46 c	2,09 e	24,55 e	0,56 b	94,91 b	0,03 b	465,33 b	342,67 a	808,00 a	6,85 a
Catuaí Vermelho IAC 15	5,77 d	0,05 d	175,90 c	1,97 b	3,24 a	30,85 a	0,47 b	107,77 b	0,04 b	469,33 b	259,17 d	728,50 c	5,17 c
Catuaí Vermelho IAC 81	6,25 d	0,06 d	174,43 c	1,19 c	1,97 f	25,22 e	0,45 b	117,88 b	0,05 b	473,50 a	358,33 a	831,83 a	8,00 a
Catuaí Vermelho IAC 99	6,20 d	0,05 d	148,89 d	1,83 b	3,24 a	30,73 a	0,40 c	124,76 b	0,05 b	486,83 a	289,33 c	776,17 b	6,24 b
Caturra Vermelho MG 0187	5,58 d	0,05 d	181,51 c	1,12 c	2,10 e	28,30 c	0,47 b	122,22 b	0,03 b	468,50 b	313,67 b	782,17 b	6,17 b
Guatenano Colis MG0207	6,72 c	0,06 d	206,23 c	1,29 c	2,09 e	25,71 d	0,52 b	108,24 b	0,03 b	419,00 d	202,17 f	621,17 f	5,00 c
Mundo Novo IAC 379-19	6,70 c	0,06 d	173,52 c	1,18 c	1,70 h	22,41 g	0,49 b	111,26 b	0,04 b	473,50 a	354,17 a	827,67 a	7,39 a
Paraíso MG1	4,96 d	0,05 d	196,02 c	1,38 c	2,90 b	29,51 b	0,50 b	114,04 b	0,03 b	472,50 a	276,17 c	748,67 c	7,13 a
Pau Brasil MG1	9,48 b	0,15 b	269,42 a	2,43 a	1,47 i	26,30 d	0,70 a	64,61 c	0,04 b	460,50 b	267,83 c	728,33 c	7,68 a
Sacramento MG1	4,99 d	0,05 d	195,19 c	1,66 c	3,17 a	30,81 a	0,51 b	106,33 b	0,03 b	450,50 c	221,33 e	671,83 e	6,24 b
San Ramon MG 0198	7,44 c	0,08 c	217,48 b	1,70 c	1,93 f	27,99 c	0,56 b	97,44 b	0,03 b	447,33 c	248,00 d	695,33 d	7,29 a
Topázio MG 1190	9,67 b	0,14 b	266,41 a	1,49 c	0,98 k	22,38 g	0,68 a	72,32 c	0,04 b	477,17 a	279,50 c	756,67 b	7,23 a

Fonte: Da autora (2017).

Médias seguidas da mesma letra na coluna pertencem a um mesmo grupo, de acordo com o critério de agrupamento de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

4.3 Agrupamento pelos métodos *Tocher*, *UPGMA* e variáveis canônicas

De acordo com o agrupamento pelo método *Tocher*, utilizando como medida de dissimilaridade a distância generalizada de *Mahalanobis*, houve a formação de 10 grupos distintos. Os grupos 1, 3, 4 e 6 foram compostos por três genótipos, já os grupos 5 e 7 foram compostos por dois genótipos. O maior número de genótipos ficou alocado, no segundo grupo, com quatro genótipos (TABELA 7).

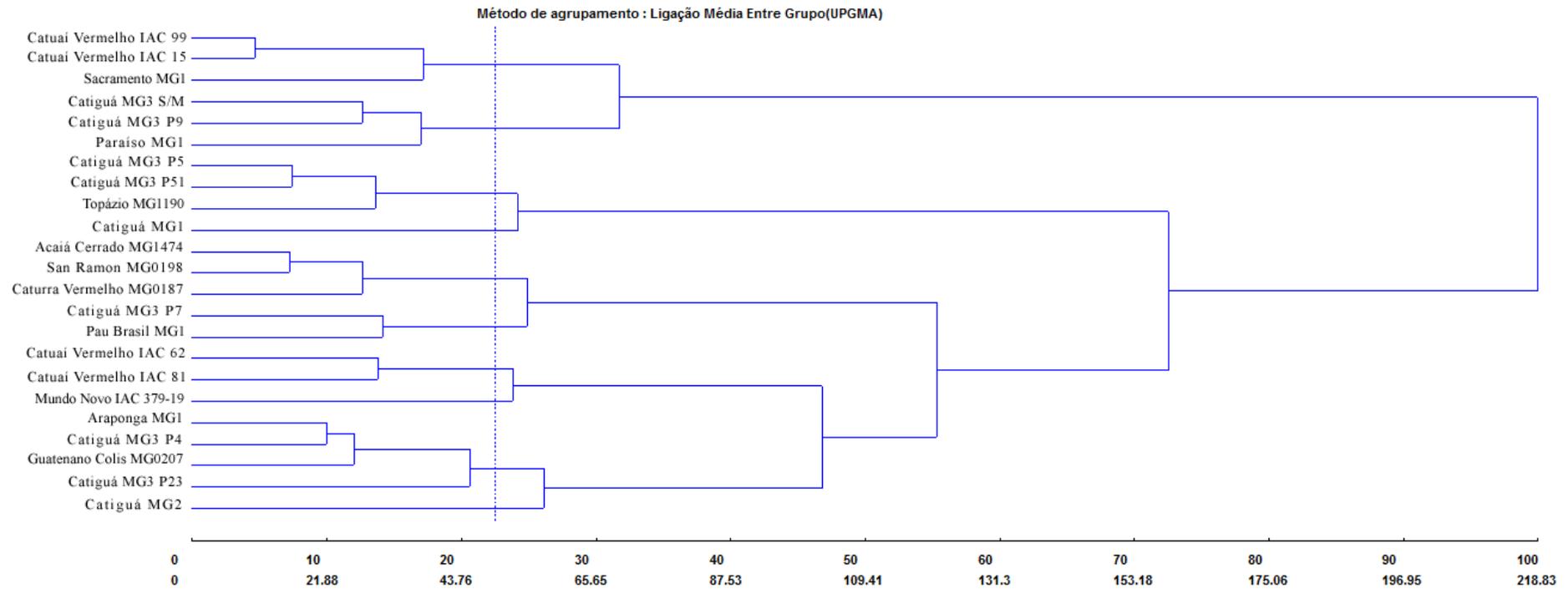
Dentre os genótipos avaliados, Catiguá MG2, Catiguá MG1 e Mundo Novo IAC 379-19 foram os mais divergentes, pois permaneceram isolados (TABELA 7). Os resultados foram concordantes com o método *UPGMA*, quando se estabeleceu o limite mínimo de 22,5% de similaridade (FIGURA 1).

Tabela 7 – Grupos formados de acordo com o método de *Tocher* baseado na distância (D^2) de *Mahalanobis*, de genótipos de *Coffea arabica* pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Cerrados. UFLA, 2017.

Grupo	Genótipos			
1	Catuaí Vermelho IAC 99	Catuaí Vermelho IAC 15	Sacramento MG1	
2	Araponga MG1	Guatenano Colis MG0207	Catiguá MG3 P4	Catiguá MG3 P23
3	Catiguá MG3 P5	Catiguá MG3 P51	Topázio MG1190	
4	Acaíá Cerrado MG1474	San Ramon MG0198	Caturra Vermelho MG0187	
5	Catiguá MG3 P7	Pau Brasil MG1		
6	Catiguá MG3 S/M	Catiguá MG3 P9	Paraíso MG1	
7	Catuaí Amarelo IAC 62	Catuaí Vermelho IAC 81		
8	Mundo Novo IAC 379-19			
9	Catiguá MG2			
10	Catiguá MG1			

Fonte: Da autora (2017).

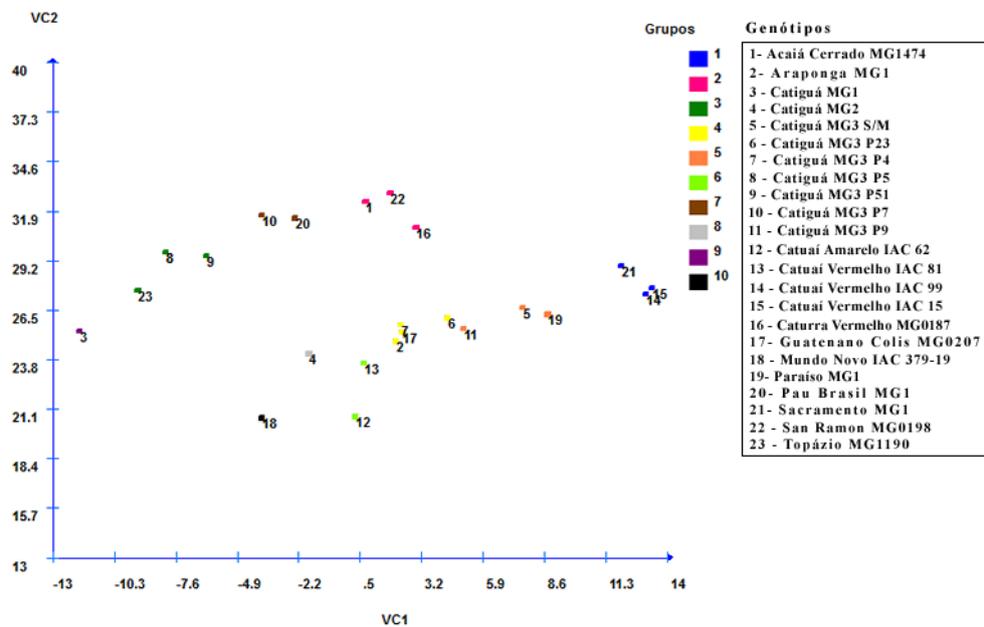
Figura 1 – Dendrograma de 23 genótipos de *Coffea arabica* pelo método de agrupamento *UPGMA*, obtido a partir da distância generalizada de *Mahalanobis*. UFLA, 2017.



Fonte: Da autora (2017).

Na Figura 2, observa-se a dispersão gráfica dos genótipos avaliados no plano bidimensional, de acordo com a primeira e segunda variáveis canônicas, as quais representam 75,67% da variação total dos dados. Os dez grupos destacados são referentes ao agrupamento de otimização *Tocher* (TABELA 7). Pela análise de variáveis canônicas, nota-se a proximidade entre os genótipos que foram agrupados pelo método de otimização *Tocher*, confirmando a discriminação dos genótipos.

Figura 2 – Dispersão de vinte e três genótipos de *Coffea arabica* pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Cerrados, e projeção espacial dos vetores das características anatômicas foliares em relação às duas primeiras variáveis canônicas. UFLA, 2017.



Fonte: Da autora (2017).

4.4 Importância de caracteres

Segundo critério proposto por Singh (1981), foi realizada a análise de importância de caracteres, a fim de verificar a contribuição relativa de cada característica para a divergência entre os genótipos. Nota-se, na Tabela 10, que as características que mais contribuíram, para a divergência entre os genótipos, foram o índice de clorofila total (36,94%), clorofila b (29,39%), espessuras do parênquima esponjoso (11,77%), mesofilo (12,63%) e índice de clorofila a (7,43%) (TABELA 8).

As características eficiência de carboxilação e taxa transpiratória foram descartadas, por terem contribuído menos para a divergência, sem que o agrupamento original fosse modificado. Já a característica densidade estomática, quando descartada, alterou o

agrupamento. Portanto, apesar dessa característica ter apresentado baixa contribuição, foi importante para a divergência entre os genótipos.

Tabela 8 – Contribuição relativa das características para a divergência de genótipos de *Coffea arabica* pela distância generalizada de *Mahalanobis*. UFLA, 2017.

Característica	S.j	Valor %
ECA	452,9626	0,0137
EAD	250,5442	0,0076
EAB	337,8628	0,0102
EPP	28491,17	0,8604
EPE	389611,5	11,7658
MES	418216,3	12,6296
EFL	615,7372	0,0186
DVX	469,5464	0,0142
NVX	477,5416	0,0144
FUN	568,9425	0,0172
DEN	190,4261	0,0058
A	470,2776	0,0142
gs	1422,676	0,0430
Ci	990,222	0,0299
DPV	14115,21	0,4263
Tleaf	10737,13	0,3242
Ci/Ca	540,321	0,0163
EUA	749,8859	0,0226
cl_a	246120,4	7,4325
cl_b	973266	29,3915
cl_total	1223296	36,9421

Fonte: Da autora (2017).

5 DISCUSSÃO

Em estudos relata-se que genótipos de cafeeiro podem se comportar de maneira diferente em função do ambiente. Para tanto, podem se adaptar por meio de estruturas anatômicas e fisiológicas (BATISTA et al., 2010; CASTANHEIRA et al., 2016; QUEIROZ-VOLTAN et al., 2014). No presente trabalho, observaram-se diferenças entre os genótipos avaliados quanto às características anatômicas foliares e fisiológicas.

Os genótipos Araponga MG1, Catiguá MG3 P23, Catuaí Vermelho IAC 15, Catuaí Vermelho IAC 81 e Catuaí Vermelho IAC 99 se diferenciaram dos demais, por estarem no grupo de maiores valores das características espessura do floema, número de vasos do xilema associados à maior densidade estomática, segundo o agrupamento Scott-Knott (TABELA 3). Maior densidade estomática favorece a absorção de CO₂, no entanto, durante este processo, a planta perde água por meio da transpiração (SHIMAZAKI et al., 2007). A perda de água, na forma de vapor, gera uma força de tensão, fazendo com que a planta absorva água do solo. O maior número de vasos do xilema observado nesses genótipos (TABELA 3) pode favorecer a condutância hidráulica (SACK; HOLBROOK, 2006).

O aumento na espessura dos vasos condutores pode ter favorecido o maior índice de área foliar observado, nos genótipos Catiguá MG2, Catiguá MG3 P5, Catiguá MG3 P9 Catuaí Amarelo IAC 62, Paraíso MG1 e Pau Brasil MG1 (TABELA 6), já que maior espessura destes tecidos favorece o transporte de fotoassimilados e de água e sais minerais, otimizando a fotossíntese, o crescimento e o desenvolvimento da planta (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2014).

Plantas que passam por condições climáticas como alta incidência de radiação e temperatura elevada desenvolvem mecanismos, para evitar o excesso de transpiração, como, por exemplo, maior espessura dos tecidos do limbo foliar, cutícula, além de mudanças na localização e no formato dos estômatos (BALIZA et al., 2012; BATISTA et al., 2010; NASCIMENTO et al., 2006; QUEIROZ-VOLTAN et al., 2014). Neste trabalho, algumas dessas características foram observadas nos genótipos Acaiá Cerrado MG 1474, Catiguá MG2, Catiguá MG3 P9, Catuaí Amarelo IAC 62, Paraíso MG1 e Sacramento MG1, como maiores valores de espessura da epiderme das faces adaxial e abaxial e funcionalidade estomática associados aos menores valores de taxa transpiratória (TABELA 3 e 6). Maior funcionalidade estomática indica que o estômato possui formato elipsoide, o que reduz a transpiração por menor abertura estomática (BATISTA et al., 2010; GRISI et al., 2008).

Outra característica da folha que pode evitar a transpiração é a maior espessura da cutícula, mesmo a transpiração cuticular sendo considerada baixa, pois pode variar entre 5 a 10% (FERRI; LAMBERTI, 1960). A maior espessura da cutícula da face adaxial observada nos genótipos Catiguá MG2 e Mundo Novo IAC 379-19, em relação aos demais (TABELA 3), pode ser de extrema importância em ambientes cuja deficiência hídrica é uma realidade. Além disso, esta camada pode aumentar a reflexão da radiação, isolar os tecidos internos e diminuir a taxa transpiratória (KUMAR; TIESZEN, 1980; SILVA et al., 2004).

O aumento na espessura do mesofilo, também, é considerada uma adaptação observada em plantas em ambientes com altas temperaturas e radiação (BALIZA et al., 2012; RIBEIRO et al., 2012), o que pode estar relacionado à maior espessura do parênquima esponjoso. Estas características favorecem o acúmulo e armazenamento de CO₂, necessário para a realização da fotossíntese (CASTANHEIRA et al., 2016; TERASHIMA et al., 2011). No presente trabalho, maiores espessuras do parênquima esponjoso e mesofilo foram observadas, nos genótipos Araponga MG1, Catiguá MG3 P4, Catiguá MG3 P5, Catuaí Amarelo IAC 62, Catuaí Vermelho IAC 15, Catuaí Vermelho IAC 99, Guatenano Colis MG0207, Pau Brasil MG1 e Sacramento MG1, quando comparados aos demais (TABELA 3).

Quando a planta passa por uma condição climática em que há baixa umidade relativa do ar, há um aumento da demanda evaporativa da atmosfera (maior déficit de pressão de vapor - DPV), conseqüentemente, os estômatos se fecham para evitar a transpiração excessiva e há uma queda na taxa fotossintética (LEMOS et al., 2012). Na condição experimental do presente trabalho, no qual a temperatura e radiação são elevadas, bem como há baixa precipitação e umidade relativa (TABELA 1), este comportamento foi observado nos genótipos Catuaí Vermelho IAC 15, Catuaí Vermelho IAC 99, Paraíso MG1 e Sacramento MG1 (TABELA 6). No entanto, na mesma condição experimental, os genótipos Catiguá MG1, Catiguá MG3 P5 e Catiguá MG3 P51 comportaram-se diferentemente, apresentando baixos valores de déficit de pressão de vapor e temperatura foliar associado à maior taxa fotossintética líquida em relação aos demais genótipos, bem como valores acima da média geral de carbono interno e condutância estomática (TABELA 6), indicando adaptabilidade desses materiais em função das condições climáticas estudadas.

No grupo de genótipos Catiguá MG1, Topázio MG1190, Catiguá MG3 P5, Catiguá MG3 P51 e Pau Brasil MG1, observou-se maior condutância estomática (gs) associada à maior concentração de carbono interno (Ci) e taxa fotossintética líquida (A), quando comparados aos valores da média geral dos genótipos (TABELA 6). Maior condutância estomática pode aumentar a concentração de CO₂ subestomático necessário, para realização

da fotossíntese (MELO et al., 2009), além disso, nesses genótipos, foram observados menores valores da eficiência do uso da água (TABELA 6), o que pode ser explicado pela maior assimilação de CO₂, associada à maior condutância que promove maior transpiração (SHIMAZAKI et al., 2007).

Maior eficiência do uso da água foi observada no genótipo Catiguá MG3 P23 em relação aos demais, o qual, também, apresentou baixa condutância estomática e taxa transpiratória (TABELA 6). A redução na condutância estomática é um mecanismo para reduzir a transpiração (SHIMAZAKI et al., 2007). Plantas com maior eficiência do uso da água são mais eficientes em manter a assimilação de carbono, durante o processo fotossintético, ao mesmo tempo em que controla a transpiração (FERREIRA; GONÇALVES; FERRAZ, 2012).

A clorofila é o principal pigmento relacionado com a fotossíntese e seu teor pode variar entre genótipos de uma mesma espécie (LEE, 1988; STREIT et al., 2005). Neste trabalho, maiores índices de clorofila b e total associados aos valores acima da média dos genótipos de índice de área foliar foram observados, nos genótipos Catuaí Amarelo IAC 62, Catuaí Vermelho IAC 81 e Mundo Novo IAC 379-19, mas os dois últimos também apresentaram altos valores de clorofila a (TABELA 6). As clorofilas são responsáveis pela captação de radiação solar, que é utilizada durante o processo fotossintético. A clorofila b é considerada um pigmento acessório e absorve energia luminosa em um espectro diferente da clorofila a auxiliando na absorção de luz (STREIT et al., 2005). Ainda, maiores níveis deste pigmento pode otimizar o processo fotossintético, já que ele pode alterar o tamanho e a localização de antena necessário para a absorção da energia luminosa e, conseqüentemente, aumentar a produção de biomassa (TANAKA; TANAKA, 2011; VOITSEKHOVSKAJA; TYUTEREVA, 2015). Dessa forma, neste trabalho, a planta pode ter utilizado os fotoassimilados produzidos, para desenvolvimento da parte vegetativa, já que apresentou maior índice de área foliar nesses genótipos (TABELA 6).

As diferenças observadas nas características anatômicas e fisiológicas entre os genótipos podem ajudar na identificação de genótipos mais adaptados às condições climáticas do presente estudo. Além disso, essa informação pode auxiliar programas de pré-melhoramento do cafeeiro por meio do estudo da divergência genética (CASTANHEIRA et al., 2016).

Conforme o estudo da divergência genética, baseado na distância generalizada de *Mahalanobis*, os genótipos foram agrupados em 10 grupos pelo método *Tocher* e *UPGMA*, quando se estabeleceram 22,5% de similaridade (TABELA 7, FIGURA 1). O resultado

corroborar com Guedes et al. (2013) e Ivoglo et al. (2008) que observaram agrupamento semelhante por esses métodos.

O número de grupos obtidos de agrupamentos indica ampla variabilidade entre os genótipos (TABELA 7, FIGURA 1). Os genótipos Catiguá MG2, Mundo Novo IAC 379-19 e Catiguá MG1 foram os mais divergentes, pois permaneceram em grupos isolados (TABELA 7). Materiais divergentes podem ser utilizados em cruzamentos para aumentar a variabilidade genética (GUEDES et al., 2013).

Por meio das variáveis canônicas, foi possível observar proximidade entre os genótipos que pertenciam ao mesmo grupo, além de distanciamento entre os genótipos que foram considerados mais divergentes, de acordo com o agrupamento de otimização *Tocher* (TABELA 7, FIGURA 2), o que indica eficiência dos métodos utilizados para a discriminação dos genótipos avaliados (PEDROSA et al., 2013).

As características que mais contribuíram para a divergência dos genótipos foram os índices de clorofila total, clorofila b, espessuras do parênquima esponjoso, mesófilo e índice de clorofila a (TABELA 8). As clorofilas são essenciais para a absorção de energia luminosa (STREIT et al., 2005). A diferença entre elas está em suas estruturas moleculares, na clorofila a, a cadeia lateral é $-CH_3$ e na clorofila b $-CHO$ (STREIT et al., 2005; VOITSEKHOVSKAJA; TYUTEREVA, 2015). A clorofila b está presente apenas nos complexos antena, que são compostos por proteínas que auxiliam na absorção e dissipação da energia luminosa, dependendo da sua intensidade. Este pigmento participa da transferência de energia luminosa dentro do complexo antena e de antena para o fotossistema (VOITSEKHOVSKAJA; TYUTEREVA, 2015). A clorofila b tem um papel importante, na localização e tamanho da antena, o que influencia o sistema fotossintético (TANAKA; TANAKA, 2011; VOITSEKHOVSKAJA; TYUTEREVA, 2015). Menores teores de clorofila b reduzem os níveis e estabilidade de algumas proteínas presentes neste complexo (VOITSEKHOVSKAJA; TYUTEREVA, 2015).

Os resultados apresentados, no presente trabalho, demonstraram a variabilidade genética entre os genótipos de *Coffea arabica* estudados. As avaliações anatômicas e fisiológicas indicaram que, de maneira geral, estes materiais tiveram comportamento diferente entre si e se adaptaram às condições climáticas do Cerrado do Planalto Central do Brasil. Por meio de análises multivariadas, foi possível distinguir os genótipos e suas variáveis relevantes, sendo este tipo de análise uma tecnologia que poderá auxiliar na seleção de genótipos em programas de melhoramento.

6 CONCLUSÃO

Os genótipos de *Coffea arabica* avaliados apresentam diferenças entre as características anatômicas e fisiológicas, indicando sua adaptação às condições climáticas do Cerrado do Planalto Central do Brasil.

Com base nas características anatômicas e fisiológicas, os genótipos mais divergentes foram Mundo Novo IAC 379-19, Catiguá MG2 e Catiguá MG1, dessa forma, são os mais indicados para futuras hibridações em programas de melhoramento genético do cafeeiro.

REFERÊNCIAS

- ANTHONY, F. et al. The origin of cultivated *Coffea arabica* L. varieties revealed by AFLP and SSR markers. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 104, n. 5, p. 894-900, Apr. 2002.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. **Indicadores da indústria de café no Brasil**. 2015. Disponível em: <<http://www.abic.com.br>>. Acesso em: 8 fev. 2017.
- 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, 2012.
- BARBIERI JÚNIOR, E. et al. Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 12, p. 2242-2245, 2012.
- BATISTA, L. A. et al. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Revista Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 475-481, 2010.
- CARVALHO, C. H. S. de et al. Cultivares de café arábica de porte baixo. In: CARVALHO, C. H. S. de (Ed.). **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília, DF: EMBRAPA Café, 2008. p. 155-252.
- CASTANHEIRA, D. T. et al. Potencial de utilização de características anatômicas e fisiológicas na seleção de progênies de cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 375-386, 2016.
- CASTRO, E. M. de; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos**. Lavras: Ed. UFLA, 2009. 234 p.
- CILAS, C.; MONTAGNON, C.; BAR-HEN, A. Yield stability in clones of *Coffea canephora* in the short and medium term: longitudinal data analyses and measures of stability over time. **Tree Genetics & Genomes**, Heidelberg, v. 7, p. 421-429, 2010.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira café: quarto levantamento, dezembro/2016**. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 2 abr. 2017.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira café: segundo levantamento, maio/2017**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 30 ago. 2017.
- CONSELHO DOS EXPORTADORES DE CAFÉ DO BRASIL. **Relatório mensal dezembro 2016**. Disponível em: <<http://www.cecafe.com.br>>. Acesso em: 8 fev. 2017.
- COSTA, G. F. da; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 37, n. 2, p. 229-234, 2007.

CRUZ, C. D. **Programa Genes**: aplicativo computacional em genética estatística. Versão para Windows. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2008.

DAMATTA, F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 86, p. 99-114, 2004.

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal Plant Physiology**, Campos dos Goytacases, v. 18, n. 1, p. 55-81, 2006.

EIRA, M. T. S. da et al. **Bancos de germoplasma de café no Brasil**. Brasília, DF: EMBRAPA Recursos Genéticos e Biotecnologia, 2007. 18 p.

FAZUOLI, L. C. et al. Cultivares de café arábica de porte alto. In: CARVALHO, C. H. S. de (Ed.). **Cultivares de café**: origem, características e recomendações. Brasília, DF: EMBRAPA Café, 2008. p. 87-113.

FERNANDES, A. L. T. et al. A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 231-240, 2012.

FERREIRA, M. J.; GONÇALVES, J. F. de C.; FERRAZ, J. B. S. Crescimento e eficiência do uso da água de plantas jovens de castanheira da Amazônia em área degradada e submetidas à adubação. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 2, p. 393-401, 2012.

FERRI, M. G.; LAMBERTI, A. Informações sobre a economia d'água de plantas de um tabuleiro no município de Goiana (Pernambuco). **Botânica**, São Paulo, n. 17, p. 133-145, 1960.

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, nov./dez. 2008.

GUEDES, J. M. Divergência genética entre cafeeiros do germoplasma Maragogipe. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 2, p. 127-132, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISA E ESTATÍSTICA. **Mapas de biomas e de vegetação**. Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 28 mar. 2017.

IVOGLO, M. I. L. A. N. A. G. et al. Divergência genética entre progênies de café robusta. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 823-831, 2008.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw-Hill, 1940.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 478 p.

KUMAR, D.; TIESZEN, L. L. Photosynthesis in *Coffea arabica*: I., effects of light and temperature. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 16, p. 13-19, 1980.

LEE, D. W. Simulating forest shade to study the development ecology of tropical plants: juvenile growth in three vines in India. **Journal of Tropical Ecology**, Cambridge, v. 4, p. 281-292, 1988.

LEMOS, J. P. et al. Morfologia de plantas de milho em competição com picão-preto e traboeraba submetidas a roçada. **Planta Daninha**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 487-496, 2012.

LIMA, R. B. et al. Heat stress causes alterations in the cell-wall polymers and anatomy of coffee leaves (*Coffea arabica* L.). **Carbohydrates Polymers**, London, v. 93, n. 1, p. 135-143, 2013.

MACHADO, J. L. **Divergência genética e caracterização da anatomia foliar de acessos do Banco de germoplasma de café de Minas Gerais**. 2014. 102 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil: manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA; Varginha: PROCAFÉ, 2010. 542 p.

MATOS, F. M. et al. Phenotypic plasticity in response to light in the coffee tree. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 67, p. 421-427, 2009.

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, DF: EMBRAPA Café, 2008. p. 79-201.

MELO, A. S. de et al. Alterações das características fisiológicas da bananeira sob condições de fertirrigação. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 733-741, 2009.

MENDES, A. N. G. et al. Mutantes de *Coffea arabica* L. e cultivares de importância histórica. In: CARVALHO, C. H. S. de (Ed.). **Cultivares de café: origem, características e recomendações**. Brasília, DF: EMBRAPA Café, 2008. p. 281-298.

MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, R. J. **Cafeicultura empresarial: produtividade e qualidade**. Lavras: Ed. UFLA/FAEPE, 1998. 99 p.

MOREIRA, H. L. **Zoneamento geoambiental e agroecológico do Estado de Goiás: região nordeste**. Rio de Janeiro: IBGE, 1995. 178 p.

NASCIMENTO, E. A. do et al. Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 852-857, 2006.

O'BRIEN, T. P.; FEDER, N.; MCCULLY, M. E. Polychromatic staining of plant cell walls by toluidine blue O. **Protoplasma**, Karlsruhe, v. 59, p. 368-373, 1964.

PEDROSA, A. W. et al. Crescimento de cultivares de café em resposta a doses contrastantes de zinco. **Coffee Science**, Lavras, v. 8, n. 3, p. 295-305, 2013.

- PETEK, M. R.; SERA, T.; FONSECA, I. C. de B. Predição de valores genéticos aditivos na seleção visando obter cultivares de café mais resistentes à ferrugem. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 133-140, 2008.
- QUEIROZ-VOLTAN, R. B. et al. Caracterização da anatomia foliar de cafeeiros arábica em diferentes períodos sazonais. **Revista Biotemas**, Florianópolis, v. 27, n. 4, p. 1-10, 2014.
- RAO, C. R. **Advanced statistical methods in biometric research**. New York: Willey, 1952. 390 p.
- REIS, E. A. C. **Caracterização de cultivares de cafeeiros resistentes à ferrugem submetidas à poda tipo esqueletamento**. 2016. 74 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.
- RIBEIRO, M. de N. O. et al. Anatomia foliar de mandioca em função do potencial para tolerância à diferentes condições ambientais. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 2, p. 354-361, 2012.
- RODRIGUES, W. P. et al. Whole-canopy gas exchanges in *Coffea* sp. is affected by supra-optimal temperature and light distribution within the canopy: the insights from an improved multi-chamber system. **Scientia Horticulturae**, The Hague, v. 211, p. 194-202, 2016.
- SACK, L.; HOLBROOK, N. M. Leaf hydraulics. **The Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 57, p. 361-381, 2006.
- SEGATTO, F. B. et al. Técnica para estudo da anatomia da epiderme foliar de batata. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1597-1601, 2004.
- SERA, T. Coffee genetic breeding at IAPAR. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 1, n. 2, p. 179-199, 2001.
- SHIMAZAKI, K. I. et al. Light regulation of stomatal movement. **Annual Review of Plant Biology**, Gainesville, v. 58, n. 1, p. 219-247, 2007.
- SILVA, E. A. et al. Seasonal changes in vegetative growth and photosynthesis in Arabica coffee trees. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 89, p. 349-357, 2004.
- SILVA, P. E. M. et al. The functional divergence of biomass partitioning, carbon gain and water use in *Coffea canephora* in response to the water supply: implications for breeding aimed at improving drought tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 87, p. 49-57, 2013.
- SILVA, V. A. et al. Uso de características fisiológicas na identificação de genótipos de café arábica tolerantes ao *Meloidogyne paranaensis*. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 2, p. 242-250, 2015.
- SINGH, D. The relative importance of caracteres affecting genetic divergence. **The Indian Journal of Genetic and Plant Breeding**, New Delhi, v. 41, n. 2, p. 237-245, 1981.
- STREIT, N. M. et al. As clorofilas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 748-755, 2005.

TANAKA, R.; TANAKA, A. Chlorophyll cycle regulates the construction and destruction of the light-harvesting complexes. **Biochimica et Biophysica Acta**, Alberta, v. 1807, p. 968-976, 2011.

TERASHIMA, I. et al. Leaf functional anatomy in relation to photosynthesis. **Plant Physiology**, Waterbury, v. 155, n. 1, p. 108-116, 2011.

UTHSCSA ImageTool. Versão 3.0 final. Disponível em:
<[tp://ddsdx.uthscsa.edu/dig/download.html](http://ddsdx.uthscsa.edu/dig/download.html)>. Acesso em: 10 mar. 2017.

VENTURIN, R. P. et al. A pesquisa e as mudanças climáticas na cafeicultura. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 34, p. 34-43, 2013.

VOITSEKHOVSKAJA, O. V.; TYUTEREVA, E. V. Chlorophyll b in angiosperms: functions in photosynthesis, signaling and ontogenetic regulation. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v. 189, p. 51-64, 2015.

ZHANG, S. et al. Temperature-dependent gas exchange and stomatal/non-stomatal limitation to CO₂ assimilation of *Quercus liaotungensis* under midday higher irradiance. **Photosynthetica**, Prague, v. 39, p. 383-388, 2001.