

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GENÉTICA E
MELHORAMENTO**

NIQUISSE JOSÉ ALBERTO

**CARACTERES AGRONÓMICOS E ANATÔMICOS FOLIARES E
CARACTERIZAÇÃO E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM FRUTOS
DE DIFERENTES CUTIVARES DE *Coffea arabica* EM
MOÇAMBIQUE**

**ALEGRE
2022**

NIQUISSE JOSÉ ALBERTO

**CARACTERES AGRONÓMICOS E ANATÔMICOS FOLIARES E
CARACTERIZAÇÃO E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM FRUTOS
DE DIFERENTES CULTIVARES DE *Coffea arabica* EM
MOÇAMBIQUE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento.

Orientador: Prof. DSc. Fábio Luiz Partelli

**ALEGRE
2022**

FICHA CATALOGRÁFICA

NIQUISSE JOSÉ ALBERTO

CARACTERES AGRONÓMICOS E ANATÔMICOS FOLIARES E
CARACTERIZAÇÃO E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM FRUTOS
DE DIFERENTES CUTIVARES DE *Coffea arabica* EM
MOÇAMBIQUE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Genética e Melhoramento.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Fábio Luiz Partelli (Orientador)
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Dr. Adésio Ferreira
Universidade Federal do Espírito Santo

Dr. Cesar Abel Krohling
Incapar

Dr. Ana Ribeiro Barros
Universidade de Lisboa

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela concessão de saúde, sabedoria e ajudou a superar os obstáculos, me dando forças para concluir essa dissertação de mestrado tornando uma realidade, dou a minha honra.

Ao Parque Nacional de Gorongosa. Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Ao Programa de Pós-graduação em Genética e Melhoramento. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), ao Instituto de Cooperação da Língua Portuguesa (Camões, I.P.), à Agência Brasileira de Cooperação (ABC), Ministério das Relações Exteriores do Brasil – Itamaraty.

Ao meu orientador, Professor Doutor Fábio Luiz Partelli, que sempre acreditou em mim, agradeço a orientação exemplar sem nunca me desmotivar, se colocando disponível para sanar dúvidas e auxiliar com ideias, as quais contribuíram no enriquecimento em todas as etapas subjacentes ao trabalho realizado.

Ao coordenador do programa Professor Doutor Adésio Ferreira, pelas inúmeras vezes que me recebeu e contribuir imensamente na minha formação.

Aos meus professores Marcia Flores da Silva Ferreira, Tatiana Tavares Carrijo, Elisa Mitsuko Aoyama, Monique Moreira Moulin, Guadalupe del Rosario Quispe Saji, Alexandre, Louisiane de Carvalho Nunes, Marcelo Curitiba, Marcela Campanharo e a todos não citados, pelos enormes conhecimentos transmitidos durante a jornada do mestrado e contribuição significativa para a concretização do mesmo.

Desejo igualmente agradecer a todos os meus amigos e colegas que fiz durante o Mestrado, especialmente a Gleison, Alex, Juliette, Laricia, Geisiele, Willian, Mateus, Loren, Gabriel, Rafael, Ana, Layra, Luciana e mas outros cá não citados cujo apoio e amizade sempre se fizeram presentes.

À minha família, especialmente aos meus pais, José e Marcinta, pelo apoio e incentivo de sempre, por acreditarem em mim, e na concretização dos meus sonhos. Aos meus Filhos José e Marcy, meus irmãos e amigos, que mesmo distantes, se fizeram presente. Amo vocês!

À família Partelli, Campanharo e Olioze, muito obrigado por toda atenção e paciência.

Enfim, a todos que de forma direta ou indireta fizeram parte para a concretização do trabalho. O meu muito obrigado!

BIOGRAFIA

Niquisse José Alberto, nascido em Nampula, Moçambique, em 30 de julho de 1991, filho de José Alberto e Marcinta Jorge.

Cursou estudos fundamentais nas escolas da Barragem, Napipine e Nampula, província e cidade de Nampula, em 2012 ingressou na Universidade Católica de Moçambique, Distrito de Cuamba, Província de Niassa, com o propósito de se tornar Engenheiro Agrônomo, o qual foi concluído em 2016.

Em março de 2021, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento no Estado do Espírito Santo da Universidade Federal do Espírito Santo/Brasil, para obtenção do título de Mestrado em Genética e Melhoramento, área de concentração Melhoramento, sob orientação do professor Doutor Fábio Luiz Partelli. Participou em Pesquisas de café arabica e canephora no núcleo de excelência e pesquisa em café conilon, bem como pelo núcleo Tricafé uma cooperação entre Brasil, Moçambique e Portugal, submetendo a defesa de dissertação em Agosto de 2022.

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
1 INTRODUÇÃO GERAL	10
2 CAPÍTULOS	11
2.1 CARACTERÍSTICAS DOS FRUTO, CONCENTRAÇÃO E ACÚMULO DE NUTRIENTES CULTIVARES DE <i>Coffea arabica</i>	12
Resumo.....	13
Abstract.....	14
Introdução	15
Material e Métodos.....	18
Resultados	23
Discussão.....	36
Conclusões	38
Referências	39
2.2 DIVERSIDADE GENÉTICA EM <i>Coffea arabica</i> A PARTIR DE CARACTERES AGRONÓMICOS E ANATÔMICOS FOLIARES	42
Resumo.....	42
Abstract.....	43
Introdução	44
Material e Métodos.....	46
Resultados e discussão	50
Conclusões	60
Referências	61
3 CONCLUSÕES GERAIS	63
4 REFERÊNCIAS	64

RESUMO GERAL

ALBERTO, Niquisse José; M.Sc.; Universidade Federal do Espírito Santo; Agosto de 2022; **Caracteres agronômicos e anatômicos foliares e caracterização e acúmulo de nutrientes em frutos de diferentes cultivares de *Coffea arabica* em Moçambique**; Orientador: Fábio Luiz Partelli.

Os capítulos 1 e 2 buscam têm como objetivo o estudo da diversidade genética de diferentes cultivares de *Coffea arabica* a partir características dos frutos, concentração, acúmulo, retirada de nutrientes e retorno de nutrientes (palha), bem como caracteres agronômicos e anatômicos foliares. No capítulo 1 foi feita a avaliação das características dos frutos, concentração, acúmulo, retirada de nutrientes e retorno de nutrientes (palha). Os dados foram submetidos à análise de variância, seguidamente de comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0.05$) e estimativas de parâmetros genéticos e agrupamento pelo método hierárquico UPGMA. A caracterização do fruto e grãos de café maduros e secos indicaram parcialmente comportamento diferenciado entre os cultivares. Observou-se maior acúmulo na maioria dos macronutrientes e alguns micronutrientes no grão, fruto e palha. N, K e Ca foram os mais macronutrientes encontrados no grão, fruto e palha, sendo, no entanto o Fe, Mn e B os micronutrientes mais acumulados no grão, fruto e palha dos cultivares avaliados. No capítulo 2, foram avaliados caracteres agronômicos e anatômicos foliares. Os dados foram submetidos à análise de variância, seguidamente de comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0.05$) e estimativas de parâmetros genéticos e agrupamento pelo método hierárquico UPGMA, e análise de correlação linear de Pearson. A análise de variância indicou parcialmente comportamento diferenciado entre os cultivares nas características avaliadas. O método de agrupamento UPGMA distinguiu os materiais em dois grupos, e a cultivar Catucaí Amarelo 2SL apresentou maior dissimilaridade comparativamente as demais. Houve correlações de Pearson positivas e negativas com níveis de significância variando de fraco a forte entre as variáveis avaliadas.

Palavra-chave: Café arabica. Caracterização de frutos e grãos. Nutrição mineral. Variabilidade. Estômatos. Biométrie.

ABSTRACT

Chapters 1 and 2 as study genetic diversity of different *Coffea arabica* cultivars based on fruit characteristics, concentration, accumulation, nutrient withdrawal and nutrient return (straw), as well agronomic and anatomical leaf characters. In chapter 1, the evaluation of fruit characteristics, concentration, accumulation, nutrient withdrawal and nutrient return (straw) was carried out. Data were subjected to analysis of variance, followed by means comparison of Tukey's test at 5% probability level ($p \leq 0.05$) and estimates genetic parameters and clustering by the hierarchical UPGMA method. The characterization of fruit and mature and dry coffee beans partially indicated different behavior between the cultivars. Greater accumulation was observed in most macronutrients and some micronutrients in grain, fruit and straw. N, K and Ca were the most macronutrients found in the grain, fruit and straw, however Fe, Mn and B were the most accumulated micronutrients in the grain, fruit and straw of evaluated cultivars. In chapter 2, agronomic and anatomical leaf characters were evaluated. The data were submitted to variance analysis, followed by means comparison of Tukey's test at the level of 5% probability ($p \leq 0.05$) and estimates genetic parameters and grouping by hierarchical UPGMA method, and Pearson's linear correlation analysis. The variance analysis partially indicated different behavior among the cultivars in the evaluated characteristics. The UPGMA clustering method distinguished materials into two groups, and the cultivar Catucaí Amarelo 2SL showed greater dissimilarity compared to others. There were positive and negative Person correlations with significance levels ranging from weak to strong among variables evaluated.

Keyword: Arabica coffee. Characterization of fruits and grains. Mineral nutrition. Variability. stomata. Biometry.

1 INTRODUÇÃO GERAL

O café é uma cultura de rendimento tropical, adequada apenas para o cultivo em áreas tropicais ou subtropicais, como uma das principais bebidas em todo o mundo, é caracterizado por muitas funções, incluindo refrescância, diurese, revigoramento do estômago e estimulação do apetite (LIU et al., 2018; ZHANG et al., 2021).

O *Coffea arabica* possui uma diversidade genética dentro da espécie considerada extremamente baixa, atribuída devido à sua origem alotetraplóide, biologia reprodutiva (alta porcentagem predominante de autofecundação) e processo de evolução (LASHERMES et al., 1996; MISHRA et al., 2011; SCALABRIN et al., 2020; Jingade et al., 2021). Embora a diversidade genética seja considerada baixa entre os grupos Typica e Bourbon, estudos revelam que a diversidade pode ser muito maior entre o café silvestre. No entanto, pesquisadores tem explorado a possibilidade de incluir outras espécies do gênero nos programas de melhoramento de *C. arabica*. Registros, indicam 42 espécies prioritárias de café dignos de avaliação e experimentação adicionais (DAVIS et al., 2019).

A diversidade genética citada anteriormente é extremamente fundamental e constitui base em programas de melhoramento, favorecendo a seleção de genótipos superiores com as características desejadas (CHARRIER E BERTHAUD, 1985; DALCOMO et al., 2015). Com a disponibilidade de novos materiais em campo, é essencial a avaliação e caracterização das plantas e a adoção de técnicas multivariadas permite a identificação e seleção de genótipos promissores e/ou distintos (CRUZ, REGAZZI, CARNEIRO, 2012; CARMONA et al., 2015; DALCOMO et al., 2015), pois a avaliação, conservação e manutenção dos recursos genéticos do café são consideradas uma prioridade urgente para o cultivo sustentável de café (BRAMEL et al., 2017) e fornecem a base da solução genética para resolver vários problemas das áreas de cultivo de café em todo o mundo.

Muitos estudos, indicam que as mudanças climáticas constituem enormes desafios para cafeicultura, devido ao aumento na instabilidade climática e extrema temperatura ambiente, agravamento das perturbações meteorológicas e mudanças na quantidade e no tempo de precipitação. A mudança climática antropogênica influência de forma crescente sobre esses fatores (IPCC, 2014) e foi considerado o único desafio abrangente para a sustentabilidade de longo prazo para a produção de café (DAVIS et al., 2019). Porém, os impactos ocorrem tanto na produção bem como na qualidade da bebida, afetando potencialmente toda a cadeia de valor do café, desde os produtores, indústria e até os consumidores de café (MARTINS et al., 2016).

No entanto, destacam-se três estratégias primordiais de adaptabilidade para garantir resiliência ao setor cafeeiro sob as mudanças climáticas, dentre elas: (1) fazendo adaptação, alterando o microclima do ar e do solo na fazenda, por vários meios; (2) realocação de áreas de cultivo de café, por exemplo, para elevações mais altas e mais frias; e (3) substituição, ou seja, alterar a colheita usando novos cultivares, novos híbridos ou espécies alternativas. De entre as três estratégias têm mérito, mas realocação (2) e substituição (3) oferecem o maior potencial a longo prazo, sob as projeções de mudanças climáticas (DAVIS et al., 2021,).

A temperatura média anual ideal para crescimento vegetativo de cultivares de *C. arabica* é observado geralmente na faixa de 18°C a 23°C. Acima de 23°C, o desenvolvimento e maturação de frutas são aceleradas, mas frequentemente resultam em perda de qualidade (CAMARGO, 1985; PARTELLI et al., 2014).

Com temperatura média anual abaixo de 17°C a 18°C, o crescimento e a fotossíntese são fortemente deprimidos, enquanto a ocorrência de episódios de geada dificulta o sucesso econômico da safra (CAMARGO, 1985). O cafeeiro apresenta forte redução da taxa de crescimento, fotossíntese e todo o metabolismo nos períodos de temperatura baixa, o que pode consequentemente baixar a produtividade (BARROS e MAESTRI, 1974; BAUER et al., 1990; BARROS et al., 1997; LIBARDI et al., 1998; AMARAL et al., 2001, 2006; NAZARENO et al., 2003; SILVA et al., 2004; MARRÉ, 2012; PARTELLI et al., 2010, 2014). Algumas literaturas, sustentam que peso embora o metabolismo fotossintético e o crescimento são severamente prejudicados com temperatura abaixo de 15°C, com valores desprezíveis de fotossíntese observados a 4°C (BAUER et al., 1985; DAMATTA et al., 1997; RAMALHO et al., 2003; BATISTA-SANTOS et al., 2011), algumas cultivares podem sobreviver com essas temperaturas sem danos ao nível das folhas, permitindo uma recuperação rápida em condições de reaquecimento (CAMPOS et al., 2003; RAMALHO et al., 2003; FORTUNATO et al., 2010, PARTELLI et al., 2014).

Diante a importância social e econômica, manejo da cafeicultura bem como no melhoramento genético, objetivou-se com o estudo avaliar a diversidade genética a partir de características dos frutos, concentração, acúmulo, retirada de nutrientes e retorno de nutrientes (palha), características agronômicas e anatômicas foliares de diferentes cultivares de *C. arabica* cultivados em Parque Nacional de Gorongosa – Moçambique.

2 CAPÍTULOS

2.1 CARACTERÍSTICAS DO FRUTO, CONCENTRAÇÃO E ACÚMULO DE NUTRIENTES EM CULTIVARES DE *Coffea arabica* em Moçambique

RESUMO

As características genéticas, manejo nutricional, bem como as condições ambientais determinam a produtividade e qualidade do café. Com isso, objetivou-se neste estudo avaliar características dos frutos, concentração, acúmulo, retirada de nutrientes e retorno de nutrientes (palha) de diferentes cultivares de *Coffea arabica* cultivados em Parque Nacional de Gorongosa – Moçambique. O experimento foi conduzido em delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições e avaliação de nove cultivares. As coletas de dados e amostras de fruto e folha foram realizadas em dois meses, de Junho a Julho de 2021, na fase de maturação, onde os materiais foram secos em estufa, despulpados e enviados de Moçambique para caracterização e análise laboratorial para determinação do teor nutricional no Brasil. Os dados foram submetidos à análise de variância, seguidamente de comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0.05$) e estimativas de parâmetros genéticos e agrupamento pelo método hierárquico UPGMA. A caracterização do fruto e grãos de café maduros e secos indicaram parcialmente comportamento diferenciado entre os cultivares. Observou-se maior acúmulo na maioria dos macronutrientes e alguns micronutrientes no grão, fruto e palha. N, K e Ca foram os mais macronutrientes encontrados no grão, fruto e palha, sendo, no entanto o Fe, Mn e B os micronutrientes mais acumulados no grão, fruto e palha dos cultivares avaliados. É de fundamental importância a consideração da diversidade genética e período de avaliação para o diagnóstico nutricional, pois a concentração e acúmulos de nutrientes nestes diferentes órgãos avaliados têm influência direta para manejo da cultura, bem como no seu retorno em forma de palha, garantindo alta produtividade.

Palavra-chave: Café arabica. Caracterização de frutos e grãos. Nutrição mineral. Variabilidade

ABSTRACT

Genetic characteristics, nutritional management, as well environmental conditions determine coffee productivity and quality. Thus, the study objective was to evaluate fruit characteristics, concentration, accumulation, nutrient withdrawal and nutrient return (straw) of different cultivars of *Coffea arabica* cultivated in Gorongosa National Park - Mozambique. The experiment was carried out in a randomized block design, with four replications and evaluation nine cultivars. Data collection, fruit and leaf samples were carried out in two months, from June to July 2021, in the maturation phase, where the materials were oven dried, pulped and sent from Mozambique for characterization and laboratory analysis to determine the nutritional content in Brazil. Data were subjected to analysis of variance, followed by comparison of means by Tukey's test at a 5% probability level ($p \leq 0.05$) and estimates of genetic parameters and clustering by the hierarchical UPGMA method. The characterization of the mature fruit and dry coffee beans partially indicated a different behavior between the cultivars. Greater accumulation was observed in most macronutrients and some micronutrients in grain, fruit and straw. N, K and Ca were the most macronutrients found in the grain, fruit and straw, however Fe, Mn and B were the most accumulated micronutrients in the grain, fruit and straw of the evaluated cultivars. It is fundamental importance to consider the genetic diversity and evaluation period for the nutritional diagnosis, since the concentration and accumulation nutrients in these different organs evaluated have a direct influence on the management of the culture, as well as on its return in the form of straw, ensuring high productivity.

Keyword: Arabica coffee. Characterization of fruits and grains. Mineral nutrition. Variability.

Introdução

O café é um dos produtos mais valorizados socialmente e economicamente a nível mundial, sendo importante fonte de receita e emprego para diversos países tropicais (ICO, 2022). O café é originário da África, pertence à família *Rubiaceae*, constituída por aproximadamente 660 gêneros, compreendendo mais de 124 espécies (DAVIS et al., 2011), dos quais *C. arabica* L. e *C. canephora* Pierre ex A. Froehner (café conilon ou robusta) dominam o comércio internacional, com 169.66 milhões de sacas de 60kg de café colhidas em 2021 a nível global, das quais 99.26 milhões equivalentes a 58.51% para *C. arabica* L. e 70.38 milhões equivalentes a 41.49% por *C. canephora* Pierre ex A. Froehner (ICO, 2022). O Continente Africano, possui mais de dez países produtores de café, destacando-se os maiores produtores a Etiópia, seguido de Uganda, África de sul, Costa do Marfim, Tanzânia, Quênia, Angola, inclusive Moçambique, como nova fonteira que o seu envolvimento no setor cafeeiro tende a crescer.

Moçambique apresenta grande dimensão e proporciona diversidades edafoclimáticas a nível da região, havendo registo de produção de espécies de *C. arabica*, *C. canephora* (Café Conilon), *C. zanguebariae* e *C. Racemosa* conhecida como café de Inhambane, sendo estas duas últimas consideradas nativas (LOUREIRO, 1790; BRIDSON, 1988, 2003; DAVIS et al., 2021), tornando-se necessários a busca de genótipos altamente produtivos e adaptados para cada região, bem como estudos de diversidade genética das cultivares, direcionando o uso de cultivares adaptadas, superiores e divergentes às condições de solo e clima de cada região de cultivo. A serra do Parque Nacional de Gorongosa – Sofala, seguido de Café de Manica – Manica, Inhambane, Maúá – Niassa e Ilha de Ibú – Cabo Delgado, destacam-se como principais regiões produtoras de café, apresentando grande importância na geração de empregos, recursos e divisas, sendo bastante diversificada, com particularidades regionais, reflorestamento da floresta tropical, essencial para a qualidade de vida destas populações. A serra do Parque Nacional de Gorongosa, abrange total de 600 mil hectares, onde os produtores locais são incentivados a plantar café nas encostas do Monte, Por meio do sistema agroflorestal de café de sombra como mecanismo para a restauração e formas alternativas de geração de renda, sendo este um objetivo cada vez mais real.

O *C. arabica* é espécie tetraplóide, sendo os demais diplóides, possui quatro conjuntos do número básico de cromossomos ($n=11$), totalizando 44 cromossomos, devido a duplicação completa de um genoma recente entre *C. canephora* (Robusta) e *C. eugenoides* em os planaltos da Etiópia Central (FLÁVIO et al., 2004; NANTAWAN

et al., 2018). Quanto a reprodução, é classificada como autógama, isso significa que ocorre principalmente por meio de autofecundação, chegando a ter 90% das suas flores fertilizadas pela junção de pólen e óvulo oriundos da mesma planta, com auxílio de ventos e de insetos (SAKIYAMA et al., 1999). No entanto, a cor do grão, tamanho do grão, sabor especial, esterilidade masculina ou baixa cafeína conteúdo são características mais desejáveis (SANT'ANA et al., 2018; HU et al., 2021).

Na cafeicultura, o elevado custo de produção, deve-se consideravelmente pelas condições de solo e clima, manejo de culturas, processamento primário e controle de pragas e doenças, inclusive ferrugem que é extremamente destrutiva (VOSSEN et al., 2015). A cafeicultura sofreu significativos avanços tecnológicos últimos anos, permitindo o aumento da produtividade e diminuição dos custos anualmente, decorrentes do monitoramento e controle do armazenamento, organização e atividades agrícolas (SANTANA et al., 2021).

O estado nutricional das plantas pode ser determinado pelo conteúdo de nutrientes nos tecidos vegetais, sendo a semente, palha e folha, órgãos fisiologicamente ativos, são utilizadas para determinação de diagnóstico nutricional. A correta interpretação da análise nutricional constitui importante ferramenta para fornecimento adequado de nutrientes em lavouras de café, reduz o desperdício, melhora o equilíbrio nutricional das plantas e, conseqüentemente, aumenta a produtividade (PARTELLI et al., 2016, 2018; OLIOSI, 2020). O seu estado nutricional, é extremamente influenciado pelas espécies e variedades, práticas de plantio, altitude, níveis de maturação, condições de armazenamento, entre outros (SAATH et al., 2019; CAMPOS et al., 2021). A intensidade nutricional absorvida pelas plantas de café varia conforme a localização, época do ano, idade, órgãos e tecidos dentro da mesma planta (BRAGANÇA et al., 2007) e ciclo de maturação (BRAGANÇA et al., 2007; PARTELLI et al., 2014; COVRE, 2016).

Nas condições que favorecem o fechamento estomático (défice hídrico, baixa temperatura), o fluxo de transpiração será reduzida e, conseqüentemente, a translocação de nutrientes das raízes também será reduzido (COVRE et al., 2018). Porém, a eficiência e prioridade de absorção de alguns nutrientes são características geneticamente definidas (LARCHER, 2000). Vários estudos apontam diferenças no teor de concentração nutricional entre genótipos de *C. arabica* sob o mesmo manejo condições (MARTINS et al., 2015; GOMES et al., 2016). Este fato deve-se pela ampla extensão intra e interespecífica de variabilidade entre genótipos de *C. arabica*, especialmente em relação a características como crescimento, ciclo de maturação, acúmulo de nutrientes e tolerância ao estresse (MARRACCINI et al., 2012). Isso possibilita explorar a diversidade para a identificação de material genético mais

adaptado às diversas condições edafoclimáticas existentes nas regiões produtoras (MARTINS et al., 2015).

Tomando em consideração a necessidade de estudos em cafeicultura, objetivou-se neste estudo avaliar algumas características dos frutos, concentração, acúmulo, retirada de nutrientes e retorno de nutrientes (palha) de diferentes cultivares de *C. arabica* cultivados no Parque Nacional de Gorongosa – Moçambique (nova fronteira de produção da espécie).

Material e Métodos

Instalação Experimental e Descrição da Área e Material Vegetal

O ensaio foi conduzido na Serra do Parque nacional de Gorongosa, uma das principais áreas de conservação e reflorestamento, localizada no distrito de Gorongosa, província de Sofala, região Central de Moçambique. A área está localizada a longitude 34° 04' 05" E entre as latitudes -18° 47' 99" e -18° 48' 05" S, numa altitude média de 960.7 m. Os meses de mais chuvosos Janeiro, Fevereiro e Abril, chagam a ter 616 milímetros por mês, a média da temperatura máxima é de aproximadamente 32 °C nos meses mais quentes e de 12 °C nos meses mais frios, o solo local foi estudado e classificado por apresentar textura argilosa com relevo ondulado baseado pelo triângulo de textura (SANTOS et al., 2018), as propriedades químicas e físicas são descritas na tabela 1.

O plantio foi realizado em Novembro de 2018, em uma lavora composta por nove cultivares de *C. arabica* (Tabela 2), dispostos em delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo os tratamentos constituídos pelos diferentes genótipos, e cada unidade experimental por 20 plantas. O plantio foi realizado em espaçamento de 2 metros entre linhas e 1.5 metros entre plantas (2x1.5), e ocupando 3m² por planta, equivalente a 3333 plantas por hectare, sendo todas nove cultivares propagados por semente. Quanto aos tratos culturais, apenas foi a capina manual, sem aplicação de adubos, inseticidas ou fungicidas, por ser uma área de conservação.

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do solo da área experimental. Parque Nacional de Gorongosa, Sofala, Moçambique.

Atributos químicos		Resultados	
M.O.	Matéria Orgânica (Oxi-Red.)	dag/dm ³	5.5
pH	(água – Relação 1:2,5)	unid.	5.1
P	(Mehlich-1)	mg/dm ³	8.4
K	(Mehlich-1)	mg/dm ³	80
Ca	(Kcl-1 mol/L)	cmolc/dm ³	1.2
Mg	(Kcl-1 mol/L)	cmolc/dm ³	0.4
Al	(Kcl-1 mol/L)	cmolc/dm ³	0.60
H + Al	(Acetato de cálcio)	cmolc/dm ³	11.00
S.B.	(Soma de bases)	cmolc/dm ³	1.81
C.T.C.	(C.T.C. a pH = 7)	cmolc/dm ³	12.81
V%	(Saturação de bases)	%	14
%K C.T.C	(% de K na C.T.C.)	%	2
%Ca C.T.C	(% de Ca na C.T.C.)	%	9
%Mg C.T.C.	(% de Mg na C.T.C.)	%	3
%Al C.T.C.	(% de Al na C.T.C.)	%	4.7
%H+Al	(% de H + Al na C.T.C.)	%	86
C.T.C.			
P (Resina)		mg/dm ³	13.6
P-rem.	(Fósforo remanescente)	mg/L	13.0
Na	(Mehlich-1)	mg/dm ³	3

S	(Fosfato monocálcico ác. acético)	mg/dm ³	22
B	(Água quente)	mg/dm ³	0.20
Zn	(Mehlich-1)	mg/dm ³	1.4
Mn	(Mehlich-1)	mg/dm ³	30.6
Cu	(Mehlich-1)	mg/dm ³	4.9
Fe	(Mehlich-1)	mg/dm ³	28
Frações granulométrica (g kg ⁻¹)			
Areia	380	38 %	
Silte	118	12 %	
Argila	502	50 %	
Tipo de solo	3		

Tabela 2. Identificação das nove cultivares de *Coffea arabica*. Parque Nacional de Gorongosa. Sofala - Moçambique.

Identificação	Nome	Número de registo no MAPA
1	Catuaí Vermelho IAC 44	2929
2	Catuaí Amarelo 2SL	04915
3	Catuaí Amarelo IAC 39	02937
4	Catuaí 785-15	04996
5	Catuaí Vermelho 19/8	4909
6	Catuaí Vermelho IAC 81	2932
7	Acauã	4995
8	Catmor 128	
9	Costa Rica	

Até o momento, as cultivares Catmor 128 e Costa Rica não foram registrados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Produtividade, coleção de frutos e folhas

Entre Junho e Julho de 2021, quando as plantas estavam com aproximadamente 32 meses de plantio, foram coletadas amostras de peso do fruto maduro (PFM) 200g colocadas em sacos de papel e levadas para secagem em estufa de circulação de ar forçada a 65°C. Os frutos foram despolidos manualmente, com base nessa amostra, foram avaliados o peso do fruto seco (PFS), número de frutos (NF), Peso do grão (PG), número de grãos (NG), percentagem de grão (PG), percentagem de palha (PP), peso por grão a 11% de umidade (P/G), peso por fruto maduro (P/FM), peso por fruto seco a 11% de umidade (P/FS), relação peso maduro do fruto por peso seco do fruto (PMF/PSF), relação peso maduro do fruto por peso seco dos grãos (PMF/PSG), kg maduro por 1000kg de grão a 11% de umidade, e kg maduro por 60kg de grão a 11% de umidade.

Amostras foliares foram coletadas (15 folhas) por parcela, ao total de 60 folhas por tratamento (genótipo), tomadas como base nos dois lados da planta entre as carreiras, no terço médio das plantas expostas ao sol, em folhas localizadas no terceiro ou quarto par de folhas a partir do ápice dos ramos plagiotrópicos. As folhas foram colocadas em sacos de papel e encaminhadas para secagem em estufa de circulação de ar forçada a 60°C até atingir massa constante por aproximadamente 72

horas.

Esses materiais (fruto, folha e solo) foram coletados e secos em Moçambique, seguidamente encaminhado sob o processo número 559/PIF/2021 e 560/PIF/201 para laboratório de análises no Brasil com permissão de importação no MAPA número 319/2021 (processo MAPA: 21000.046781/2021-91) e MAPA número 320/2021 (processo MAPA: 21000.046784/2021-25) para quantificar a concentração nutricional na semente, palha, folha e solo em nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn) e Boro (B), segundo a metodologia descrita por SILVA (2009).

Foram quantificadas a massa seca da casca e do grão em uma saca processada de 60 kg de café, tomado em considerando a relação entre o grão e a palha do fruto. Os acúmulos de macro e micronutrientes na casca e no grão foram calculados pela massa seca x concentração de cada nutriente. Macro e micronutrientes acumulados nos frutos foram obtidos com base na soma dos macro e micronutrientes contidos na casca e no grão.

Foi determinada a umidade com base o método de estufa padrão, em quatro repetições a 105 °C, por 24 h em estufa de circulação de ar forçada (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Brasil, 2009), sendo a umidade dos frutos corrigida de 0 a 12% de umidade (Mo.), pela equação:

$$W \text{ inicial} \cdot (100 - Mo \text{ inicial}) = W \text{ final} \cdot (100 - Mo \text{ final})$$

Onde W inicial = peso a 65 °C 170 h–1, W final = peso a 105 °C 24h–1, Mo inicial = P. Inicial - P. Final e V Final Mo = 88.

Com base nesses cálculos, foram determinados o peso da semente a 11% de umidade (peso seco do grão [PSG]) e a proporção de frutos maduros para o peso seco do grão a 11% de umidade (PMF/PSG).

As avaliações de produtividade, onde foram quantificados a produção (produtividade g/planta beneficiado com valor medio de 3 plantas) em uma safra 2020/2021. Seguidamente foi feita conversão para sacas de 60 kg de café beneficiado ha-1, considerando-se o rendimento obtido para cada parcela.

Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as variáveis que apresentaram diferenças significativas entre genótipos, ao nível de significância de 5% de probabilidade ($p \leq 0.05$) pelo teste F. As médias entre genótipos foram submetidas ao teste de comparação de médias de Tukey ao mesmo nível de significância. As análises dos dados foram realizadas por meio do software Genes (CRUZ, 2016).

Modelo estatístico adotado foi:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + e_{ij}$$

Onde:

Y_{ij} = observação referente ao i-ésimo efeito na j-ésima repetição.

μ = Constante geral;

G_i = efeito do i-ésimo genótipo, $i = 1, 2, \dots, 9$

e_{ij} = erro experimental.

A Matriz de dados para análise de agrupamento foi constituída por 15 variáveis, entre elas a % de grão, peso por grão a 11%, peso por fruto seco 11%, kg maduro /60kg de grão a 11%, N acumulo total (kg) no fruto ao produzir mil kg de semente a 11%, P acumulo total (kg) no fruto ao produzir mil kg de semente a 11%, K acumulo total (kg) no fruto ao produzir mil kg de semente a 11%, Ca acumulo total (kg) no fruto ao produzir mil kg de semente a 11%, Mg acumulo total (kg) no fruto ao produzir mil kg de semente a 11%, S acumulo total (kg) no fruto ao produzir mil kg de semente a 11%, Cu acumulo total (kg) no fruto ao produzir mil kg de semente a 11%, Fe acumulo total (kg) no fruto ao produzir mil kg de semente a 11%, Mn acumulo total (kg) no fruto ao produzir mil kg de semente a 11%, Zn acumulo total (kg) no fruto ao produzir mil kg de semente a 11%, e B acumulo total (kg) no fruto ao produzir mil kg de semente a 11%. Para gerar o dendrograma, estimou-se a distância generalizada de Mahalanobis (D^2) (1936), pela fórmula:

$$D^2_{ii'} = \sum_{j=1}^n \cdot \sum_{j'=1}^n \cdot W_{JJ'} d_j d_{j'}$$

Em que: $D^2_{ii'}$: é a distância generalizada de Mahalanobis entre os genótipos i e i' , $i=1, 2, \dots, 9$;

n = número de variáveis;

$W_{JJ'}$ = elemento da j-ésima linha e j-ésima coluna da inversa da matriz de variâncias e covariâncias residuais entre os genótipos; e

d_j = diferença entre as médias da j-ésima variável nos dois genótipos considerados.

Para estabelecer um ponto de corte no dendrograma e definir o número de grupos será utilizado o procedimento de MOJENA (1977), baseado no tamanho relativo dos níveis de fusões (distâncias) no dendrograma.

O método UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*) foi utilizado para construir os agrupamentos, por apresentar o maior valor de coeficiente de correlação cofenética (0,84). A análise foi obtida pelo estimador:

$$d_{(ij)k} = média(d_{ik}; d_{jk}) = \frac{d_{ik} + d_{jk}}{2}$$

Em que: $d_{(ij)k}$ é dada pela média do conjunto de distância dos pares de indivíduos (i e k) e (j e k).

Para a visualização do dendrograma, utilizou-se o software R, pacote Circlize (GU et al., 2014).

A contribuição relativa das características foi calculada a partir do método proposto por SINGH (1981), baseado na partição do total das estimativas das distâncias $D_{2ii'}$, considerando todos os possíveis pares de indivíduos, para a parte devida a cada característica. A análise foi realizada utilizando o software Genes (CRUZ, 2016).

Resultados

Dissimilaridade entre Genótipos e Contribuição Genética

Para determinar a contribuição relativa dos caracteres e concentração de macro e micronutrientes avaliados, para a diversidade genética, foi utilizado o método de SINGH (1981), resultando em valores na faixa de 0.02% a 44.45%. O peso por grão (6.71%), as concentrações de micronutrientes B (44.45%), Fe (20.58%), e macronutriente S (10.48%), foram os que mais contribuíram para a diversidade genética, juntas responderam em 82.22% de variabilidade entre os genótipos (Tabela 3).

Tabela 3. Contribuição relativa das características dos frutos, concentração e acúmulo de macro e micronutrientes em nove cultivares de *Coffea arabica*, de acordo com o método de SINGH (1981) e baseado na distância generalizada de Mahalanobis (D2). Parque Nacional de Gorongosa, Sofala, Moçambique.

Variável	S.j	Valor (%)	Valor acumulativo (%)
B	5559.12	44.45	44.45
Fe	2573.03	20.58	65.03
S	1310.84	10.48	75.51
Peso por grão	839.46	6.71	82.22
K	614.21	4.91	87.13
Mn	482.87	3.86	91.00
Mg	278.87	2.23	93.23
%Grãos	269.01	2.15	95.38
Kg maduro	214.37	1.71	97.09
P	145.69	1.17	98.26
N	101.21	0.81	99.07
Ca	70.37	0.56	99.63
Cu	23.63	0.19	99.82
Zn	20.87	0.17	99.98
Peso por fruto	2.02	0.02	100.00

S.j: valor estimado pela estatística de SINGH (1981)

Com o agrupamento dos genótipos pelo método hierárquico UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*), utilizando a distância generalizada de Mahalanobis como medida de dissimilaridade, considerando a % de grão, peso por grão a 11%, peso por fruto seco 11%, kg maduro /60kg de grão a 11%, e acúmulo total (kg) de nutrientes no fruto ao produzir mil kg de semente a 11% umidade, permitiu a formação do dendrograma. No limite máximo de corte de 250% de dissimilaridade entre os genótipos, observou-se a formação de três grupos (Figura 1). O grupo I com sete genótipos (Catucaí Amarelo 2SL, Catucaí Amarelo IAC 39, Catucaí 785-15, Catucaí Vermelho 19/8, Catucaí Vermelho IAC 81, Acauã e Catmor 128) e os grupos II e III continham apenas um genótipo (Costa Rica e Catucaí Vermelho IAC 44) respectivamente.

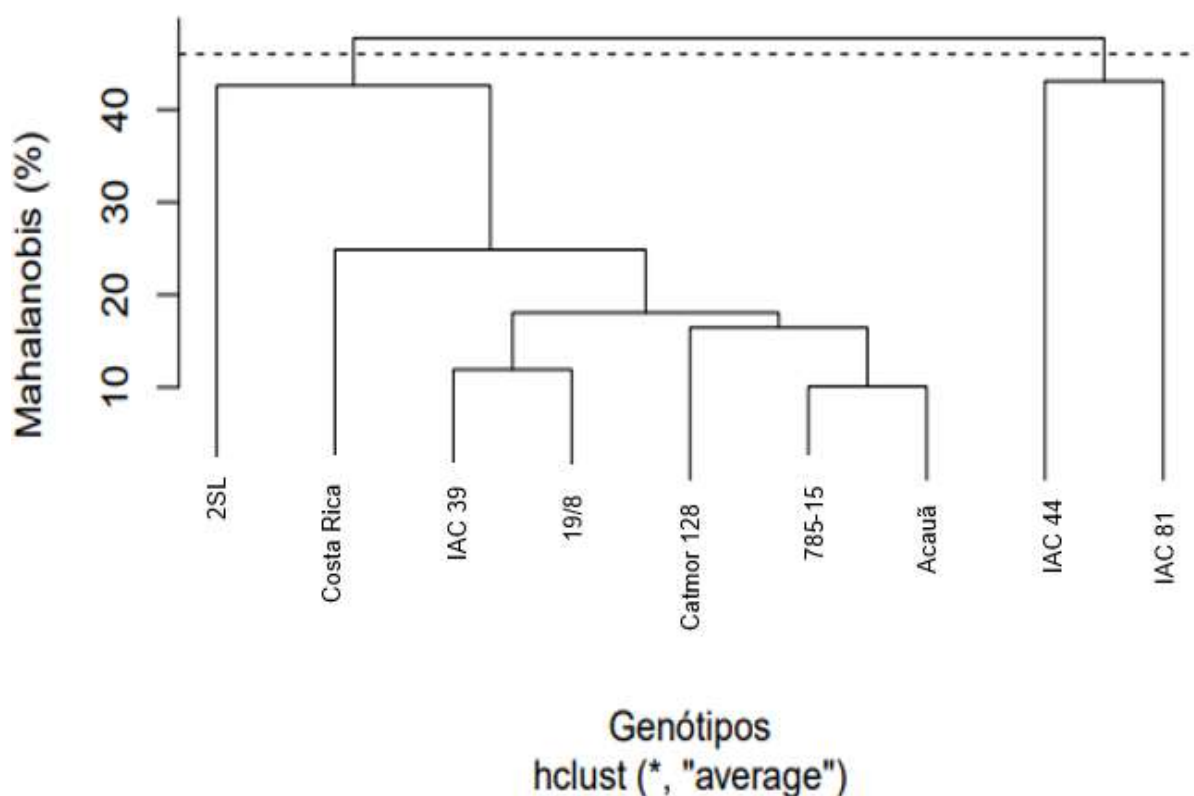


Figura 1. Dendrograma representando a dissimilaridade entre 9 cultivares de *Coffea arabica*, obtidos pelo agrupamento UPGMA utilizando a distância generalizada de Mahalanobis. Correlação cofenética: 0.8332.

Foram observadas diferenças entre os métodos de agrupamento. Os genótipos foram divididos em dois grupos pelo método de Tocher, dos quais um grupo continha apenas um genótipo. Com base no método UPGMA, o genótipo Costa Rica isolou-se formando seu próprio grupo II, e pelo método de Tocher foi atribuído ao grupo I de sete genótipos. O método de Tocher agrupou o genótipo Catuaí Vermelho IAC 44 isoladamente formando seu próprio grupo II (Tabela 4). Tanto o método UPGMA bem como no Tocher, o genótipo Catuaí Vermelho IAC 44 foi considerado divergente devido ao seu alto grau de dissimilaridade. O genótipo Costa Rica não foi agrupado separadamente apenas pelo limite máximo de dissimilaridade (250%) adotado no dendrograma.

Tabela 4. Clusters formados a partir de nove cultivares *Coffea arabica*, obtidos pelo método de Tocher, na distância generalizada de Mahalanobis (D2), com distância média entre clusters: 362.9995. Parque Nacional de Gorongosa, Gorongosa, Moçambique.

Grupos	Genótipos
I	Catuaí Vermelho IAC 81, Acauã, Catuaí Amarelo IAC 39, Catuaí 785-15, Catuaí Amarelo 2SL, Catuaí Vermelho 19/8, Catmor 128, Costa Rica
II	Catuaí Vermelho IAC 44

As variáveis analisadas indicaram parcialmente comportamento diferenciado entre os genótipos, todos agrupados pelo teste de Tukey (Tabela 5). O coeficiente de variação experimental variou de 2.83% a 6.21%, demonstrando existir boa precisão na avaliação das características. A percentagem de grão no fruto (%G), percentagem de palha no fruto (%P), relação peso maduro do fruto/peso seco dos grãos (PMF/PSG), peso de café maduro por 1000kg de grão a 11% de umidade, peso de café maduro por 60kg de grão a 11% umidade e Café maduro por tonelada de grãos a 11% de umidade não apresentaram diferenças significativas nos genótipos.

Para o peso de um grão a 11% de umidade (PG), peso por fruto maduro (PFM) e peso por fruto seco a 11% de umidade (PFS), os genótipos foram discriminados em cinco grupos. O primeiro grupo foi formado pelo genótipo Catmor 128 que apresentou as maiores proporções médias (0.18, 1.77 e 0.52) e o segundo grupo foi formado pelo genótipo Catucaí Amarelo 2SL com a menor média dos demais (0.13, 1.34 e 0.41).

Em relação ao peso de um grão a 11% de umidade (PG), o terceiro grupo foi composto pelos genótipos Catuaí Vermelho IAC 44, Catuaí Vermelho IAC 81 e Acauã. O quarto grupo formado pelos genótipos Catucaí 785-15, Catucaí Vermelho 19/8 e Costa Rica. O quinto grupo foi representado pelo genótipo Catuaí Amarelo IAC 39.

No peso por fruto maduro (PFM), os genótipos Catuaí Vermelho IAC 44, Acauã e Costa Rica representarão o terceiro grupo. O quarto grupo foi formado pelos genótipos Catuaí Amarelo IAC 39 e Catucaí 785-15. O quinto grupo formado pelos genótipos Catucaí Vermelho 19/8 e Catuaí Vermelho IAC 81 respectivamente.

Para o peso por fruto seco a 11% de umidade (PFS), o terceiro grupo foi representado pelos genótipos Catuaí Vermelho IAC 44, Catuaí Amarelo IAC 39, Catuaí Vermelho IAC 81 e Acauã. O quarto grupo foi observado o genótipo Catucaí 785-15 isoladamente. Os genótipos Catucaí Vermelho 19/8 e Costa Rica formaram o quinto grupo.

A relação peso maduro do fruto/peso seco do fruto (PMF/PSF), discriminou os genótipos em três grupos. O genótipo Costa Rica, representou o primeiro grupo e com maior média (3.44). Um segundo grupo foi formado pelos genótipos Catuaí Vermelho IAC 44, Catuaí Amarelo IAC 39, Catuaí Vermelho IAC 81 e Acauã com menores médias (3.21, 3.13, 3.15 e 3.21). Os genótipos Catucaí Amarelo 2SL, Catucaí 785-15, Catucaí Vermelho 19/8 e Catmor 128 formaram o terceiro grupo com menores médias.

TABELA 5. Características do fruto e dos grãos de café maduros e secos em nove cultivares de *Coffea arabica* cultivadas em Parque Nacional de Gorongosa, Moçambique.

Cultivares	G	P	PG	PFM	PFS	PMF/ PSF	PMF/ PSG	Peso de café maduro por 1000 kg de grão	Peso de café maduro por saca de 60 kg	Café maduro por ton grãos
	%	%	g	g	g			kg ⁻¹	kg ⁻¹	ton ⁻¹
Catuaí Vermelho IAC 44	62.2a	37.8a	0.17ab	1.60ab	0.50ab	3.21b	5.16a	5166a	310a	1608a
Catuaí Amarelo 2SL	59.9a	40.1a	0.13c	1.34c	0.41c	3.24ab	5.41a	5415a	325a	1671a
Catuaí Amarelo IAC 39	61.5a	38.5a	0.15abc	1.50bc	0.47ab	3.13b	5.09a	5096a	306a	1628a
Catuaí 785-15	61.5a	38.5a	0.15bc	1.46bc	0.44bc	3.24ab	5.28a	5282a	317a	1629a
Catuaí Vermelho 19/8	60.9a	39.1a	0.15bc	1.54abc	0.47abc	3.27ab	5.39a	5398a	324a	1648a
Catuaí Vermelho IAC 81	61.1a	38.9a	0.16ab	1.57abc	0.49ab	3.15b	5.18a	5182a	311a	1640a
Acauã	62.9a	37.1a	0.17ab	1.64ab	0.51ab	3.21b	5.11a	5111a	307a	1589a
Catmor 128	62.5a	37.5a	0.18a	1.77a	0.52a	3.35ab	5.36a	5360a	322a	1601a
Costa Rica	61.7a	38.3a	0.15bc	1.61ab	0.46abc	3.44a	5.58a	5586a	335a	1623a
CV (%)	3.74	5.99	6.21	6.17	5.41	2.83	4.73	4.73	4.73	3.76

Observação. As médias seguidas pela mesma letra em uma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação; G: % de grão no fruto; P: % de palha no fruto; PG: Peso de um grão a 11% de umidade; PFM: Peso por fruto maduro; PFS: Peso por fruto seco a 11% de umidade; PMF/PSF: Relação peso maduro do fruto/peso seco do fruto; PMF/PSG: Relação peso maduro do fruto/peso seco dos grãos; Peso de café maduro por 1000 kg de grão: peso de café maduro por 1000kg de grão a 11% de umidade; Peso de café maduro por saca de 60 kg: peso de café maduro por 60kg de grão a 11% umidade; Café maduro por ton grãos processado: Café maduro por tonelada tonelada de grãos processados a 11% de umidade.

Concentração de nutrientes nos grãos, palha e folha

A Figura 2 apresenta as concentrações de nutrientes nos grãos. Para os macronutrientes N, P e Ca, os genótipos não influenciaram na concentração dos nutrientes e todos foram agrupados pelo teste de Tukey (Figura 2A). Nos nutrientes K e Mg, as médias dos genótipos foram divididos em dois e três grupos, onde Costa Rica teve a maior média (18.0) e (2.42), que por sua vez representou um grupo próprio. Para concentração de S, os genótipos foram divididos em oito grupos de dissimilaridade. O genótipo Costa Rica esteve sempre alocado no grupo com as maiores médias de macronutrientes, e o Catucaí Vermelho 19/8 apresentou a maior média para todos macronutrientes.

Os micronutrientes Cu e Zn nos grãos, não foram influenciados pelos genótipos agrupados todos pelo teste de Tukey (Figura 2B). Para a concentração de B foi dividido em dois grupos de dissimilaridade, onde o genótipo Costa Rica representou um grupo próprio com maior média (52.1), porém os nutrientes Fe e Mn foram agrupados em três grupos de médias. O genótipo Catucaí Vermelho IAC 44 apresentou maior média (147.3) para todos micronutrientes.

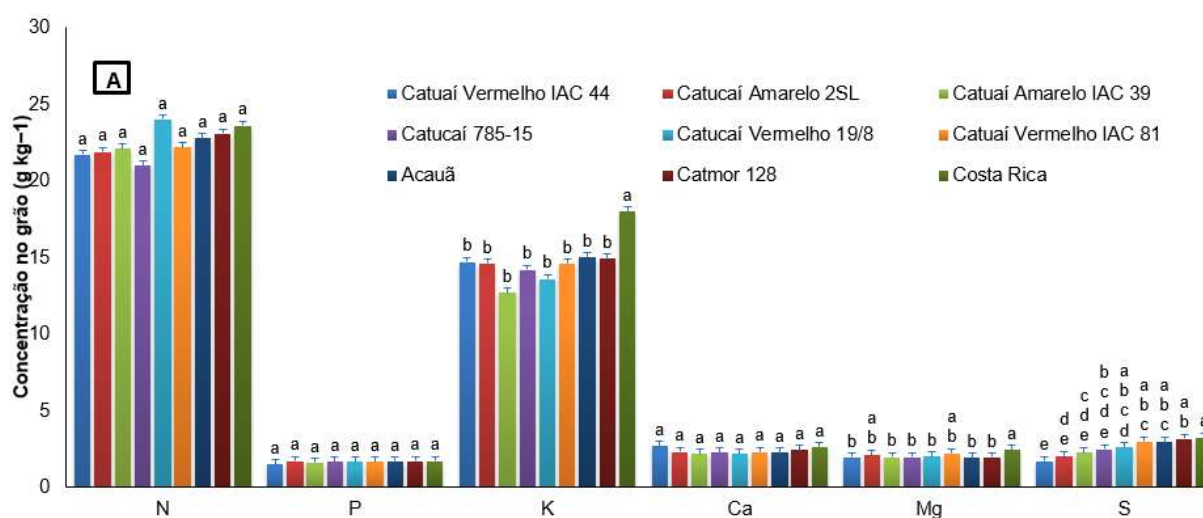


Figura 2A. Concentração de macronutrientes no grão de nove cultivares de *Coffea arabica* cultivadas em Parque Nacional de Gorongosa, Moçambique. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

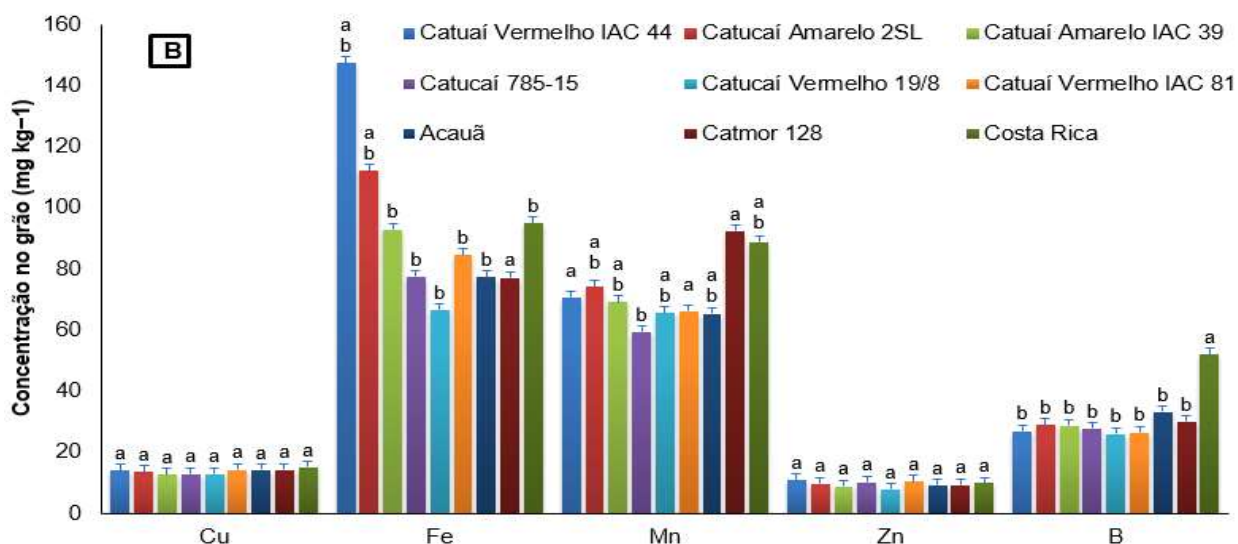


Figura 2B. Concentração de micronutrientes no grão de nove cultivares de *Coffea arabica* cultivadas em Parque Nacional de Gorongosa, Moçambique. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os macronutrientes K e Mg na palha dos grãos, os genótipos não influenciaram na concentração do nutriente e foram todos agrupados pelo teste de Tukey (Figura 3A). Para N os genótipos foram divididos em dois grupos, onde Catuaí Vermelho 19/8 foi isolado do segundo grupo e com maior média (16.5). Os nutrientes Ca e S foram agrupados em três grupos, porém, a variação das médias foi maior para o nutriente P formado por cinco grupos respetivamente. O genótipo Catuaí Vermelho IAC 81 para apresentou maior média (24.7) para todos os macronutrientes.

As concentrações de micronutrientes Mn e Zn na palha dos grãos, não apresentaram diferença nos genótipos, todos agrupados pelo teste de Tukey (Figura 3B). O nutriente Fe foi agrupado em três grupos, onde o genótipo Catuaí Vermelho IAC 44 teve a maior media (104.9) e agrupado separadamente. As médias dos genótipos nos micronutrientes Cu e B foram as mais irregulares, formando cinco e seis grupos com composições mais balanceadas. O genótipo Catuaí Vermelho IAC 44 esteve praticamente sempre no grupo com maiores médias de micronutrientes exceto para o nutriente Cu.

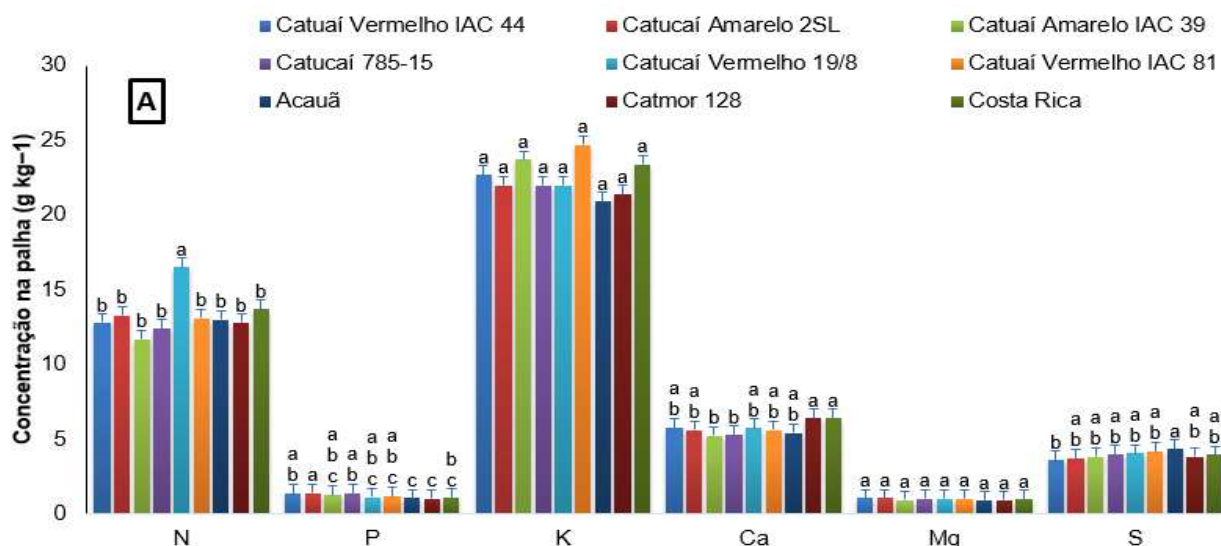


Figura 3A. Concentração de macronutrientes na palha dos grãos de nove cultivares de *Coffea arabica* cultivadas em Parque Nacional de Gorongosa, Moçambique. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

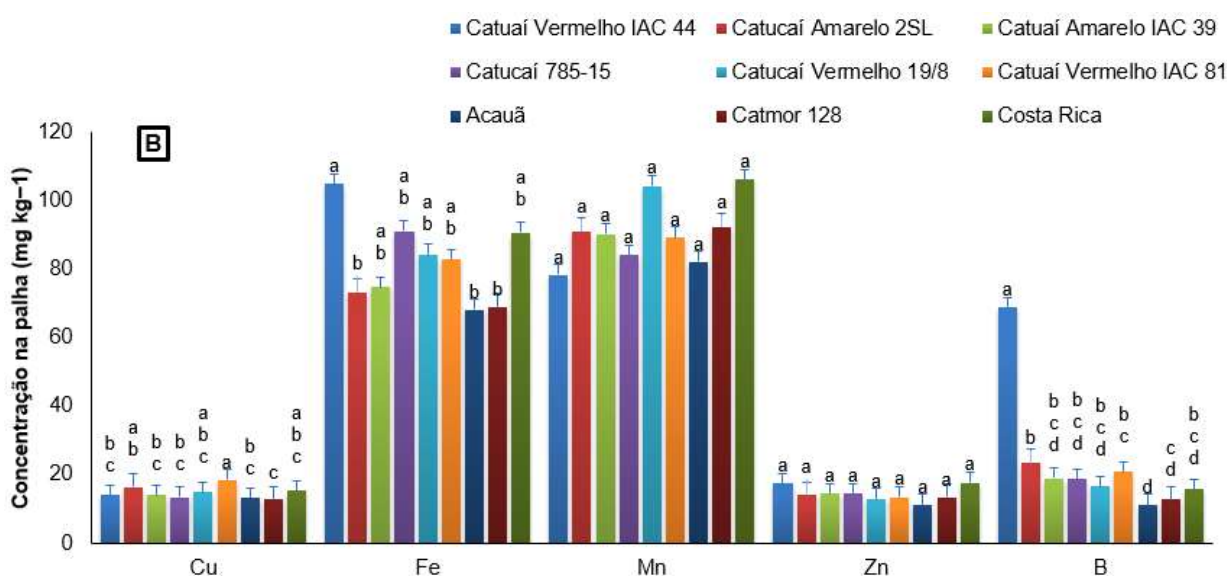


Figura 3B. Concentração de micronutrientes na palha dos grãos de nove cultivares de *Coffea arabica* cultivadas em Parque Nacional de Gorongosa, Moçambique. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As concentrações de N, Ca e Mg na folha não foram influenciadas pelos genótipos, todos submetidos ao teste de Tukey (Figura 4A). Os macronutrientes P e K formaram três grupos dissimilares, onde para P, o genótipo Catmor 128 teve a menor média (1.05) e foi agrupado separadamente. O Nutriente S, foi separado em dois grupos de médias, porém o Catmor 128 e Costa Rica foram isolados do primeiro grupo e apresentaram menores médias. O Genótipo Catuaí Vermelho IAC 44 esteve sempre no grupo com as maiores médias de macronutrientes.

Para os macronutrientes Cu, Fe e Mn na folha, os genótipos não influenciaram na concentração de nutrientes, todos submetidos ao teste de Tukey (Figura 4B). No nutriente Zn, os genótipos foram divididos em três grupos de médias, onde o Costa Rica foi isolado com menor média (8.67). Para B, os genótipos foram divididos em

dois grupos, onde Catuaí Vermelho IAC 44 e Catucaí Amarelo 2SL foram isolados do primeiro grupo e com menores médias. Os genótipos Catuaí Amarelo IAC 39, Catuaí Vermelho IAC 81 e Acauã estiveram sempre no grupo com as maiores médias de micronutrientes.

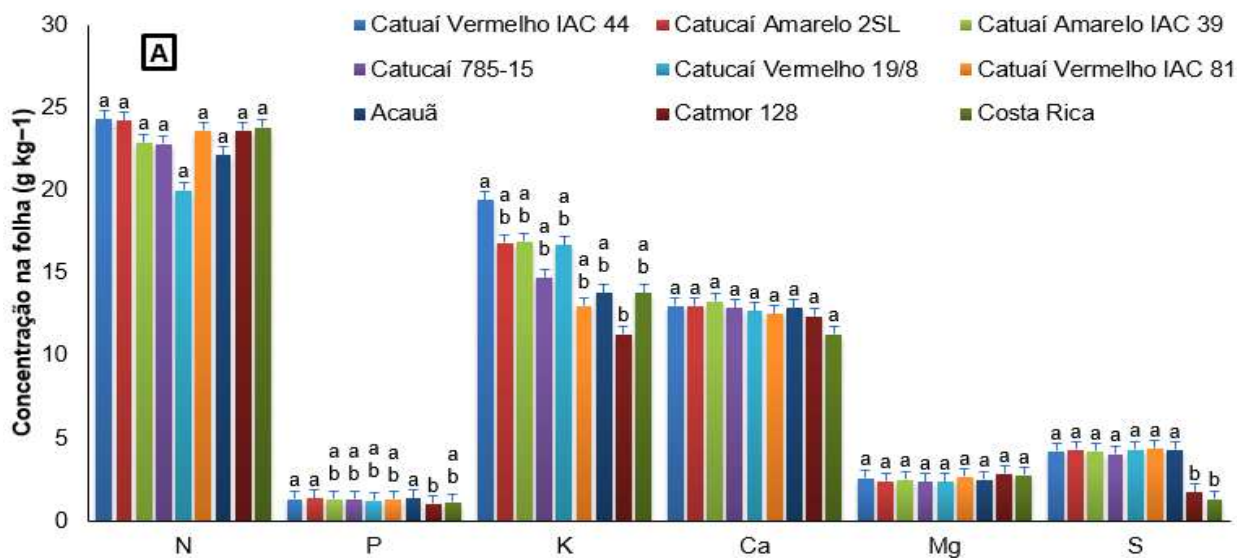


Figura 4A. Concentração de macronutrientes na folha de nove cultivares de *Coffea arabica* cultivadas em Parque Nacional de Gorongosa, Moçambique. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

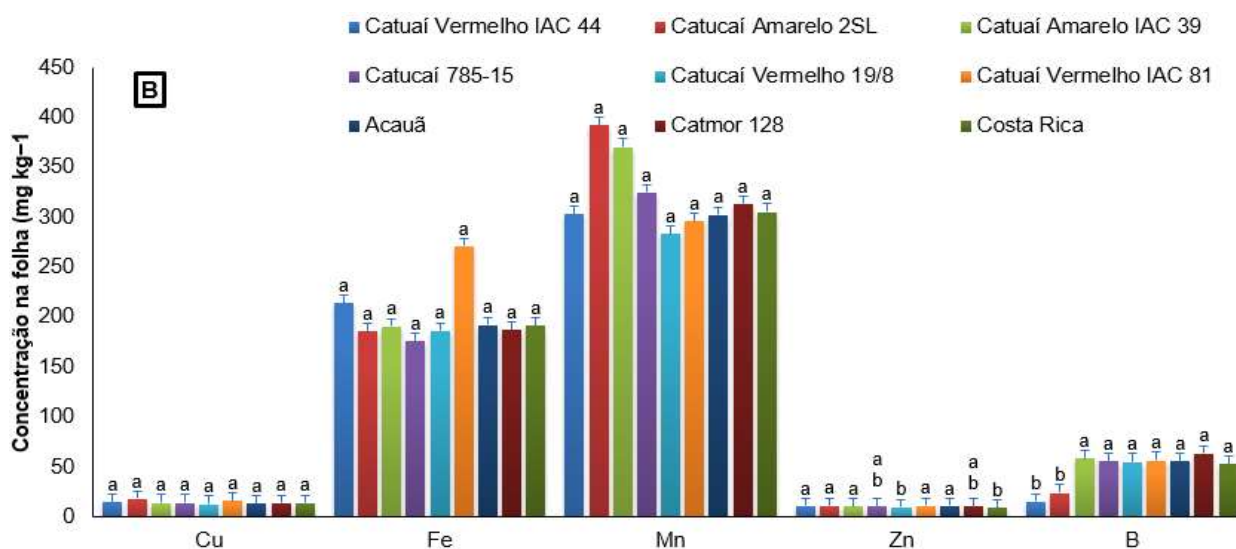


Figura 4B. Concentração de micronutrientes na folha de nove cultivares de *Coffea arabica* cultivadas em Parque Nacional de Gorongosa, Moçambique. As médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Acumulo de nutrientes no grão, palha e fruto

Os macronutrientes N, P e Ca no grão apresentaram comportamento similar em todos os genótipos submetidos ao teste de Tukey (Tabela 6). No nutriente Mg, os genótipos foram agrupados em três grupos, onde o Costa Rica teve a maior média (2.24) e foi alocado sozinho ao primeiro grupo. Em relação ao acumulo de S as médias foram mais irregulares formando oito grupos. O genótipo Catucaí Vermelho 19/8 apresentou a maior média (22.2)

de macronutrientes, por outro lado o Costa Rica foi atribuído sempre ao grupo com as maiores médias de macronutrientes.

O agrupamento das médias no grão, não apresentou diferenças significativas nos micronutrientes Cu e Zn em todos os genótipos pelo teste de Tukey (Tabela 6). Para Fe e Mn, os genótipos foram agrupados em três grupos. Para o acúmulo de B, os genótipos foram divididos em dois grupos, onde o Costa Rica apresentou a maior média (48.2) e foi isolado dos demais com a menor média observada. O genótipo Catuaí Vermelho IAC 44 apresentou a maior média (136.4) de acúmulo de micronutrientes.

O acúmulo de macronutrientes K, Ca, Mg e S na palha, não diferiam significativamente em todos os genótipos pelo teste de Tukey (Tabela 6). Os genótipos no N foram agrupados em três grupos, com a maior média (9.92) observada no Catuaí Vermelho 19/8 isolado dos demais. Para P, os genótipos foram agrupados em cinco grupos. O genótipo Catuaí Vermelho 19/8 esteve praticamente sempre no grupo com maiores médias de macronutrientes exceto para o nutriente P.

A variação das médias em acúmulo de micronutrientes Fe, Mn e Zn na palha, não foram influenciados pelos genótipos submetidos todos ao teste de Tukey (Tabela 6). Para Cu, os genótipos foram agrupados em cinco grupos, e para o micronutriente B em oito grupos. O genótipo Catuaí Vermelho IAC 44 e Catuaí Vermelho 19/8 foram alocados no grupo com maiores médias de micronutrientes exceto para Cu e B.

Em relação ao acúmulo de macronutriente Ca no fruto, os genótipos não apresentaram diferenças pelo teste de Tukey (Tabela 6). Por outro lado, os nutrientes N, P, K, Mg e S foram agrupados em três grupos. Para o acúmulo de macronutriente, a maior média foi observada no genótipo Catuaí Vermelho 19/8 (32.1) no N, enquanto a menor média foi para Acauã (2.12) em P.

Para acúmulo de micronutriente no fruto, os nutrientes Cu, Mn e Zn não apresentaram diferenças ao serem submetidas ao teste de Tukey (tabela 6). Os genótipos no Fe, foram agrupados em três grupos, onde o Catuaí Vermelho IAC 44 teve a maior média (195.5) e foi alocado sozinho no primeiro grupo. No nutriente B, os genótipos foram divididos em dois grupos, porém apenas Catuaí Vermelho IAC 44 e Costa Rica foram isolados do segundo grupo e apresentaram maiores média (63.4) e (57.3) respectivamente. O genótipo Costa Rica apresentou maior média (140.2) de micronutrientes, e o Catuaí Vermelho IAC 44 foi atribuído sempre ao grupo com as maiores médias de macronutrientes.

TABELA 6. Nutrientes acumulados no grão a 11% de umidade, palha e fruto ao se obter 1000kg de Café beneficiado em nove cultivares de *Coffea arabica* cultivadas em Parque Nacional de Gorongosa, Moçambique.

Genótipos	Macronutrients						Micronutrients				
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
	(g kg ⁻¹)						(mg kg ⁻¹)				
	Grão										
Catuaí Vermelho IAC 44	20.1a	1.39a	13.6b	2.47a	1.80b	1.59e	13.0a	136.4a	65.6ab	10.0a	25.0b
Catuaí Amarelo 2SL	20.3a	1.59a	13.5b	2.15a	1.94ab	1.87de	12.6a	103.8ab	68.7ab	9.09a	26.8b
Catuaí Amarelo IAC 39	20.4a	1.48a	11.7b	2.01a	1.82b	2.08cde	11.9a	86.0b	64.0ab	8.26a	26.7b
Catuaí 785-15	19.4a	1.55a	13.2b	2.10a	1.82b	2.29bcde	12.0a	71.7b	55.0b	9.51a	25.7b
Catuaí Vermelho 19/8	22.2a	1.55a	12.6b	2.01a	1.85b	2.40abcd	11.9a	61.7b	60.8ab	7.31a	24.1b
Catuaí Vermelho IAC 81	20.6a	1.55a	13.5b	2.13a	2.03ab	2.75abc	13.3a	78.2b	61.4ab	9.74a	24.6b
Acauã	21.1a	1.55a	13.9b	2.08a	1.78b	2.73abc	13.1a	71.6b	60.5ab	8.59a	30.7b
Catmor 128	21.4a	1.57a	13.8b	2.24a	1.80b	2.94ab	13.3a	71.4b	85.5a	8.68a	27.7b
Costa Rica	21.9a	1.59a	16.7a	2.43a	2.24a	3.01a	14.0a	87.9b	82.2ab	9.16a	48.2a
CV (%)	5.95	5.77	7.34	10.9	7.57	12.1	11.7	22.9	17.0	13.4	14.3
Palha											
Catuaí Vermelho IAC 44	7.23ab	0.76abc	12.7a	3.27a	0.59a	2.02a	7.82bc	59.2a	44.7a	9.82a	38.4a
Catuaí Amarelo 2SL	8.24ab	0.87a	13.7a	3.48a	0.65a	2.29a	10.1ab	45.5a	56.4a	8.59a	14.5b
Catuaí Amarelo IAC 39	6.82b	0.74abc	13.8a	3.05a	0.55a	2.24a	8.16bc	43.3a	52.3a	8.39a	10.9bc
Catuaí 785-15	7.22ab	0.79ab	12.8a	3.09a	0.60a	2.31a	7.81bc	53.1a	48.9a	8.25a	10.9c
Catuaí Vermelho 19/8	9.92a	0.67abc	13.2a	3.46a	0.62a	2.44a	8.92abc	51.1a	62.3a	7.68a	9.84cd
Catuaí Vermelho IAC 81	7.77ab	0.69abc	14.4a	3.28a	0.60a	2.49a	10.8a	49.6a	53.9a	7.96a	12.1bc
Acauã	7.08b	0.57c	11.4a	2.94a	0.47a	2.38a	7.22c	37.2a	44.8a	6.05a	6.07e
Catmor 128	7.13b	0.57c	11.8a	3.56a	0.51a	2.14a	6.96c	38.3a	51.6a	7.48a	6.96de
Costa Rica	7.84ab	0.62bc	13.4a	3.67a	0.57a	2.27a	8.80abc	52.3a	60.8a	10.0a	9.06cd

											e
CV (%)	15.0	12.0	10.7	11.1	17.4	14.6	11.8	20.3	22.3	21.3	11.5
Fruto											
Catuaí Vermelho IAC 44	27.3b	2.15ab	26.3ab	5.74a	2.40ab	3.62b	20.8a	195.5a	110.3a	19.9a	63.4a
Catuaí Amarelo 2SL	28.5ab	2.46a	27.1ab	5.63a	2.59ab	4.17ab	22.7a	149.2ab	125.1a	17.7a	41.3b
Catuaí Amarelo IAC 39	27.2b	2.22ab	25.5b	5.06a	2.38ab	4.32ab	20.1a	129.2b	116.3a	16.7a	37.6b
Catuaí 785-15	26.7b	2.35ab	26.0ab	5.19a	2.43ab	4.60ab	19.8a	124.8b	103.9a	17.8a	36.5b
Catuaí Vermelho 19/8	32.1a	2.22ab	25.8b	5.48a	2.47ab	4.84ab	20.9a	112.8b	123.0a	15.0a	34.0b
Catuaí Vermelho IAC 81	28.6ab	2.24ab	27.9ab	5.41a	2.63ab	5.24a	24.1a	127.8b	115.3a	17.7a	36.7b
Acauã	28.1ab	2.12b	25.3b	5.03a	2.26b	5.11a	20.4a	108.8b	105.3a	14.6a	36.8b
Catmor 128	28.5ab	2.14ab	25.6b	5.81a	2.31ab	5.08a	20.2a	109.8b	137.1a	16.2a	34.7b
Costa Rica	29.7ab	2.21ab	30.1a	6.10a	2.82a	5.28a	22.8a	140.2ab	143.1a	19.2a	57.3a
CV (%)	6.41	6.09	6.52	9.4	8.65	10.98	8.96	18.4	18.0	14.2	10.5

Observação. As médias seguidas pela mesma letra em uma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CV: coeficiente de variação.

Correlação entre as concentrações e acúmulos de nutrientes nos grãos, palha, frutos, percentagem de palha, percentagem de grão, peso do grão e peso do fruto

As correlações de Spearman para as concentrações e acúmulos de macro e micronutrientes 30% foram consideradas significativas, as quais evidenciam relações binárias (positivas e negativas) entre as variáveis avaliadas (Tabela 7). Entre Grão x ATG, e Palha x ATP tem-se uma correlação totalmente positiva e significativa variando de 0.80 a 1, em virtude dos nutrientes encontrados no grão e na palha, o que significa que a concentração nutricional do grão e da palha é diretamente proporcional ao ATG e ATP, isto é, quanto maior a concentração de nutrientes no grão e na palha, maior é o ATG e ATP. Comportamentos similares foram observados na %Grão x Peso do fruto, %Grão x Peso do grão, e Peso do fruto x Peso do grão, os quais apresentaram uma variação de 0.73 a 0.96, de maneira quanto maior for a %Grão maior o Peso do grão o do Peso do fruto, e a maximização do Peso do grão é simultaneamente resultado do Peso do fruto, como sugerido pela correlação positiva e significativa entre eles.

Através da %Grão x %Palha, %Palha x Peso do fruto, e %Palha x Peso do grão observou-se uma correlação negativa e significativa variando de -0.73 a -0.80, demonstrando que são inversamente proporcionais, isto é, enquanto uma variável aumenta a outra diminui.

TABELA 7. Matriz de correlação de Spearman entre as concentrações e acúmulos de nutrientes nos grãos, palha, frutos, percentagem de palha, percentagem de grão, peso do fruto e peso do grão em nove cultivares de *Coffea arabica* cultivadas em Parque Nacional de Gorongosa, Moçambique.

Variáveis	Nutrientes										
	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn	B
Grão x Palha	0.64*	-0.23	-0.30	0.71*	0.38	0.54	0.15	0.38	0.50	0.6*	-0.55
Grão x ATG	1***	1***	1***	1***	1***	1***	0.99***	1***	1***	1***	1***
Grão x ATP	0.28	-0.18	-0.49	0.55	0.60*	0.27	0.00	0.42	0.22	0.48	-0.56
Grão x ATF	0.82**	0.18	0.23	0.80**	0.96***	0.95***	0.57	0.93***	0.83**	0.83**	0.35
Grão x %Grão	0.09	-0.18	0.66*	0.30	-0.69*	0.31	0.40	-0.12	0.12	0.08	0.55
Grão x %Palha	-0.09	0.18	-0.66*	-0.30	0.69*	-0.31	-0.40	0.12	-0.12	-0.08	-0.54
Grão x Peso do fruto	0.29	-0.35	0.37	0.11	-0.65*	0.29	0.33	-0.36	0.12	-0.06	0.05
Grão x Peso do grão	0.14	-0.31	0.47	0.29	-0.66*	0.30	0.44	-0.28	0.11	0.18	0.09
Palha x %Palha	0.39	0.60*	0.39	-0.24	0.64*	-0.06	0.75**	0.18	0.34	0.04	0.54
Palha x ATP	0.85**	0.99***	0.83**	0.80**	0.86**	0.85**	0.98***	0.98***	0.87**	0.92***	1***
Palha x ATF	0.91***	0.75*	0.56	0.90***	0.55	0.71*	0.83**	0.55	0.88**	0.93***	0.47
Palha x %Grão	-0.39	-0.6*	-0.39	0.24	-0.64*	0.06	-0.75**	-0.18	-0.34	-0.04	-0.54
Palha x Peso do grão	-0.29	-0.60*	-0.29	0.39	-0.44	0.12	-0.59*	-0.20	-0.39	-0.31	-0.33
Palha x Peso do fruto	-0.22	-0.66*	-0.27	0.34	-0.52	0.16	-0.54	-0.35	-0.29	-0.47	-0.37
ATF x ATP	0.73*	0.80**	0.52	0.9**	0.68*	0.47	0.77*	0.58	0.68*	0.86**	0.44
ATF x %Grão	-0.3	-0.90***	-0.43	0.03	-0.65*	0.24	-0.38	-0.35	-0.17	-0.09	0.14
ATF x %Palha	0.3	0.80***	0.43	-0.03	0.65*	-0.24	0.38	0.35	0.17	0.09	-0.14
ATF x Peso do fruto	0.01	-0.83**	-0.49	-0.03	-0.64*	0.22	-0.13	-0.48	-0.11	-0.40	-0.19
ATF x Peso do grão	-0.097	-0.80**	-0.36	0.06	-0.60*	0.22	-0.18	-0.42	-0.19	-0.19	-0.14
ATP x %Grão	-0.66*	-0.63*	-0.75**	-0.23	-0.90***	-0.44	-0.84**	-0.24	-0.69*	-0.26	-0.55
ATP x %Palha	0.66*	0.63*	0.75**	0.23	0.90***	0.44	0.84**	0.24	0.69*	0.26	0.55
ATP x Peso do fruto	-0.49	-0.70*	-0.54	-0.18	-0.70*	-0.19	-0.54	-0.41	-0.50	-0.58	-0.39
ATP x Peso do grão	-0.49	-0.62*	-0.62*	-0.15	-0.68*	-0.25	-0.62*	-0.25	-0.63*	-0.49	-0.33
%Grão x %Palha	-1*										
%Grão x Peso do fruto	0.73*										
%Grão x Peso do grão	0.80*										
%Palha x Peso do fruto	-0.73*										
%Palha x Peso do grão	-0.80**										
Peso do fruto x Peso do grão	0.96***										

Os valores destacados em verde e vermelho significam correlações significativas positivas e negativas, respetivamente * p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001

Discussão

A partir da dissimilaridade das características dos frutos, concentração e acúmulo de macro e micronutrientes nos diferentes órgãos vegetais das nove cultivares, observou-se a formação de três grupos, nos quais dois grupos compostos por apenas uma cultivar. Grupos compostos por apenas um genótipo, indicam existência de características distintas em relação as demais (MARTINS, 2019; YAN, 2019; SCHMIDT, 2022). Com base o método hierárquico UPGMA, GOMES et al. (2016) e MACHDO et al. (2017), observaram a formação de grupos divergentes de genótipos de *C. canephora* e *C. arabica* para características nutricionais e diversidade genética. A diversidade genética é extremamente importante para o melhoramento genético. As principais limitações para a obtenção de populações segregantes são a limitada variação genética e a baixa capacidade de recombinação devido à repetidos processos de autofecundação (RODRIGUES et al., 2016; MACHADO et al., 2017).

Os frutos de café são morfológicamente caracterizados pelas seguintes partes: o pericarpo (exocarpo, mesocarpo e endocarpo), o perisperma e o endosperma, que é o tecido de armazenamento onde se encontra localizado o embrião (CASTRO & MARRACCINI, 2006; PARTELLI, 2021). Quando processado, parte desses componentes do fruto é descartado, formando uma mistura de resíduos a qual pode ser reutilizada para retorno de nutrientes em forma de palha, sendo o endosperma parte do grão, usada comercialmente. A maior ou menor percentagem do peso do grão por fruto nas diferentes cultivares indicaram variação genotípica na alocação de biomassa aos diferentes constituintes do fruto. Ao contrário das demais, as cultivares Catmor 128, Catuaí Vermelho IAC 44, Acauã e Catuaí Vermelho IAC 81 acumulam mais a percentagem de grão por fruto a qual é usada comercialmente, reduzindo consequentemente a energia na forma de biomassa nas diferentes partes do fruto. O acúmulo de matéria seca nos frutos é afetado pela produtividade de fruto maduro, significando que maior produtividade de fruto maduro resulta em mais biomassa acumulada nos frutos. O rendimento do café verde é medido após a secagem e o descascamento dos frutos de café, e o maior ou menor peso de frutos verdes grãos de café está diretamente relacionado ao acúmulo de biomassa em os frutos (PREZOTTI & BRAGANÇA, 2014; PARTELLI et al., 2021).

Observou-se baixa variabilidade entre as cultivares quanto ao peso de café maduro para produzir uma saca de 60 kg e 1 tonelada de café maduro de grãos processados. A produtividade variou de 306 a 335 Kg¹ de café maduro para a obtenção de uma saca de 60 kg, representando uma variação de 4,73% entre as cultivares avaliados, para CV abaixo de 7% são geralmente considerados baixos (Gomes, 1985).

O micronutriente Fe foi o mais acumulado nos grãos, palha e frutos, fato que também foi observado por COVRE et al. (2016), em *Coffea Canephora* (Conilon). No entanto, o micronutriente Mn foi o segundo mais acumulado nos mesmos. Aproximadamente 80% do Fe se acumula nos cloroplastos e têm um importante papel vital na fotossíntese e na produção de clorofila (BRAGANÇA, 2007; SANTOS, 2021). A concentração de nutrientes varia de acordo com as condições edáficas, estação do ano, idade da planta e ciclo de maturação do genótipo (PARTELLI, 2014; OLIOSI, 2020), significando que alguns genótipos podem absorver ou translocar mais nutrientes do que outros (SANTOS, 2021). Além disso, a eficiência e prioridade de absorção de alguns nutrientes são características geneticamente definidas (LARCHER, 2000). Vários estudos apontam diferenças no teor de concentração nutricional entre genótipos de *C. arabica* sob o mesmo manejo condições (MARTINS et al., 2015; GOMES et al., 2016). Este fato deve-se pela ampla extensão intra e interespecífica de variabilidade entre genótipos de *C. arabica*, especialmente em relação a características como crescimento, ciclo de maturação, acúmulo de nutrientes e tolerância ao estresse (MARRACCINI et al., 2012). Isso possibilita explorar a diversidade para a identificação de material genético mais adaptado às diversas condições edafoclimáticas existentes nas regiões produtoras (MARTINS et al., 2015).

Conclusões

Os cultivares Costa Rica e Catuaí Vermelho IAC 44 apresentam maior dissimilaridade em comparação aos demais. O método de agrupamento UPGMA distinguiu os materiais em três grupos. Os métodos hierárquico UPGMA e de otimização de Tocher apresentaram consistência no agrupamento dos genótipos, ordenando-os em três e dois grupos dissimilares, sendo que a cultivar Catuaí Vermelho IAC 44 se destaca com a maior dissimilaridade, constituindo grupo isoladamente em ambos os métodos.

A caracterização do fruto e grãos de café maduros e secos indicaram parcialmente comportamento diferenciado entre os cultivares avaliados.

Os cultivares avaliadas apresentaram maior acúmulo na maioria dos macronutrientes e alguns micronutrientes no grão, fruto e palha. N, K e Ca foram os mais macronutrientes encontrados no grão, fruto e palha, sendo, no entanto o Fe, Mn e B os mais micronutrientes mais acumulados no grão, fruto e palha do *C. arabica*.

Os resultados deste estudo apoiaram futuras recomendações e desenvolvimento do cafeeiro em Moçambique como nova fronteira, propondo trabalhos futuros a divisão de diferentes ambientes.

Referências

BRAGANÇA, S.M.; MARTINEZ, H.E.P.; LEITE, H.G.; SANTOS, L.P.; SEDIYAMA, C.S.; ALVAREZ, V.V.H. & LANI, J.A. B, Cu, Fe, Mn & Zn accumulation by Conilon coffee plant. **Revista Ceres**, 54: 398-404, 2007.

BRIDSON, D.M. “*Coffea*” in Flora Zambesiaca, ed G. V. Pope (Kew: Royal Botanic Gardens), 452–463, 2003.

BRIDSON, D.M.; POLHILL, R.M. & VERDCOURT, B. “*Coffea*” in Flora of Tropical East Africa, *Rubiaceae*, 703–723, 1988.

CAMPOS, R.C.; PINTO, V.R.A.; MELO, L.F.; ROCHAC, S.J.S.S. & COIMBRA, J.S. New sustainable perspectives for “Coffee Wastewater” and other by-products: A critical review, 1-7, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100058>.

CASTRO, R. D. & MARRACCINI, P. Cytology, biochemistry and molecular changes during coffee fruit development. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, 18, 175–199, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100013>.

COVRE, A.M.; PARTELLI, F.L.; BONOMO, R. & GONTIJO, I. Micronutrients in the fruits and leaves of irrigated and non-irrigated coffee plants. **Journal of Plant Nutrition**, 41 (9):1119–29, 2018. Doi: 10.1080/01904167.2018.1431665.

CRUZ, C.D. Programa Genes – Ampliado e integrado aos aplicativos R, Matlab e Selegen. **Acta Scientiarum Agronomy**, 38, 547–552, 2016. Doi: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i3.32629>.

DAVIS, A. P.; TOSH, F.L.J.; RUCH, N.; & FAY, M.F. Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data: Implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. **Botanical Journal of the Linnean Society**, 167, 357–377, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2011.01177.x>.

DAVIS, A.P.; GARGILO, R.; ALMEIDA, I.N.M.; CARAVELA, M.I.; DENISON, C. & MOAT, J. The identity, climate profiles, agronomy, and beverage characteristics of *coffea racemose* and *C. zanguebariae*. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, Vol. 5, Art. 740137, 2021. Doi: 10.3389/fsufs.2021.740137.

FLÁVIO, F.S.; JÚLIO, C.F.S.; JOSÉ, N.M.C. & MILTON, M.S. Características das principais variedades de café cultivadas em Rondônia In Embrapa Centro de Pesquisa Agroflorestal de Rondônia Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2004, ISSN 0103-9865.

GOMES, W.R.; RODRIGUES, W.P.; VIEIRA, H.D.; OLIVEIRA, M.G.; DIAS, J.R.M.; & PARTELLI, F.L. Genetic diversity of standard leaf nutrients in *Coffea canephora* genotypes during phenological phases. **Genetics and Molecular Research**, 15 (4):1–13, 2016. Doi: 10.4238/gmr.15048839.

GU, Z.; GU, L.; EILS, R.; SCHLESNER, M. & BRORS, B. Circlize implements and enhances circular visualization in R. **Bioinformatics**, 30 (19), 2811-2812, 2014. Doi: 10.1093/bioinformatics/btu393.

HU, F.; BI, X.; LIU, H.; FU, X.; LI, Y.; YANG, Y.; ZHANG, X.; WU, R.; LI, G.; LV, Y.; HUANG, J.; LUO, X. & SHI, R. Transcriptome and carotenoid profiling of different varieties of *Coffea arabica* L. provides insights into fruit color formation. **Plant**

Diversity, p. 1-5, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2021.11.005>.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION (ICO). Historical Data on the Global Coffee Trade. Disponível em: <https://www.ico.org/documents/cy2021-22/cmr-1221-e.pdf> (accessed at March 23, 2022).

LOUREIRO, J. Flora Cochinchinensis. Lisbon: Ulyssipone: Typis, et expensis Academicis, 1790.

MARRACCINI, P.; VINECKY, F.; ALVES, G.S.C.; RAMOS, H.J.O.; ELBELT, S.; VIEIRA, N.G.; CARNEIRO, F.A.; SUJII, P.S.; ALEKCEVETCH, J.C.; SILVA, V.A.; DAMATTA, F.M.; FERRÃO, M.A.G.; LEROY, T.; POT, D.; VIEIRA, L.G.E.; SILVA, F.R. & ANDRADE, A.C. Differentially expressed genes and proteins upon drought acclimation in tolerant and sensitive genotypes of *Coffea canephora*. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, 63:4191–4212, 2012.

MARTINS, L.D.; RODRIGUES, W.N.; MACHADO, L.S.; BRINATE, S.V.B.; COLODETTE, T.V.; AMARAL, J.F.T. & TOMAZ, M.A. Evidence of genetic tolerance to low availability of phosphorus in the soil among genotypes of *Coffea canephora*. **Genetics and Molecular Research**, 14:10576-10587, 2015. Doi: 10.4238/2015.September.8.19.

MARTINS, M.Q.; PARTELLI, F.L.; FERREIRA, A.; BERNARDES, C.O.; GOLYNSKI, A.; VIEIRA, H.D.; FREITAS, M.S.M. & RAMALHO, J.C. Genetic variability on nutrient contents in *Coffea canephora* genotypes cultivated at 850 meters of altitude in two crop seasons. **Functional Plant Breeding Journal**, 1, 1–12, 2019. <http://doi.org/10.35418/2526-4117/v1n1a6>.

MACHADO, C.M.S.; PIMENTEL, N.S.; GOLYNSK, A.; FERREIRA, A.; VIEIRA, H.D. & PARTELLI, F.L. Genetic diversity among 16 genotypes of *Coffea arabica* in the Brazilian cerrado. **Genetics and Molecular Research**, 16 (3): gmr16039794, 2017. Doi <http://dx.doi.org/10.4238/gmr16039794>.

NANTAWAN, U.; KANCHANA-UDOMKAN, C. & DREW, R. Identification of genes related to sugar content in *carica papaya* L.: differential expression and candidate marker development. **Acta Horti**, 203, 129-136, 2018. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2018.1203.20>.

OLIOSI, G.; PARTELLI, F.L.; SILVA, C.A.; DUBBERSTEIN, D.; GONTIJO, I. & TOMAZ, M.T. Seasonal variation in leaf nutrient concentration of conilon coffee genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, 44, 1–14, 2020. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1792492>.

PARTELLI, F. L.; ESPINDULA, M. C.; MARRE, W. B. & VIEIRA, H. D. Dry matter and macronutrient accumulation in fruits of conilon coffee with different ripening cycles. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38 (1):214–22, 2014. Doi: 10.1590/S0100-06832014000100021.

PARTELLI, F. L.; OLIVEIRA, M.G.; COVRE, H. D.; VIEIRA, H.D.; DIAS, J. R. M. & H. BRAUN. Nutritional standards and nutritional diagnosis of the Conilon coffee plants in phenological growth stages. **Journal of Plant Nutrition**, 41 (19):2536–46, 2018. Doi: 10.1080/01904167.2018.1510513.

PARTELLI, F.L.; BATISTA-SANTOS, P.; SCOOT-CAMPOS, P.; PAIS, I.P.; RAMALHO, J.C.; DAMATTA, F.M.; RODRIGUES, A. P.; RIBEIRO, A. et al. Cold

impact and acclimation response of *Coffea* spp. Plants. **Theoretical and Experimental plant physiology**, 2014, 26:5-18.

PARTELLI, F.L.; GOMES, W.R.; OLIVEIRA, M.G.; DIAS, J.R.M. & ESPINDULA, M.C. Normas foliares e diagnóstico nutricional do cafeeiro na pré-florada e granação. Espírito Santo. **Coffee Science**, 11:544–54, 2016. Doi: 10.25186/cs.v11i4.1177.

Partelli, F.L.; Oliosi, G.; Dalazen, J.R.; da Silva, C.A.; Vieira, H.D.; Espindula, M.C. Proportion of ripe fruit weight and volume to green coffee: Differences in 43 genotypes of *Coffea canephora*. **Journal agronomy**, 113, 1050–1057, 2021. <http://doi.org/10.1002/agj2.20617>.

SAKIYAMA, N.S. & PEREIRA, A.A. ZAMBOLIM, L. Melhoramento de café arábica. In: Borém, A. (Ed.). Melhoramento de espécies cultivadas. p. 189-204, 1999.

SANT'ANA, G.C.; PEREIRA, L.F.P.; POT, D.; IVAMOTO, S.T.; DOMINGUES, D.S.; FERREIRA, R.V.; PAGIATTO, N.F.; SILVA, B.S.R.; NOGUEIRA, L.M.; KITZBERGER, C.S.G.; SCHOLZ, M.B.S.; OLIVEIRA, F.F.; SERA, G.H.; PADILHA, L.; LABOUISSSE, J.P.; GUYOT, R.; CHARMETANT, P. & LEROY, T. Genome-wide association study reveals candidate genes influencing lipids and diterpenes contents in *Coffea arabica* L. **Scientific Reports**, 8, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18800-1>.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAUJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B. & CUNHA, T.J.F. (2018). Sistema brasileiro de classificação de solos (5th ed.). Embrapa.

SCHMIDT, R.; SILVA, C.A.; DUBBERSTEIN, D.; DIAS, J.R.M.; VIEIRA, H.D. & PARTELLI, F.L. Genetic Diversity Based on Nutrient Concentrations in Different Organs of Robusta Coffee. **Agronomy**, 12, 640, 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030640>.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, 41, 237- 245, 1981.

VOSSSEN H.V.D.; BERTRAND, B. & CHARRIER, A. Next generation variety development for sustainable production of arabica coffee (*Coffea arabica* L.): a review. **Association for Science and Information on Coffee** (ASIC), 204:243–256, 2015. Doi: 10.1007/s10681-015-1398-z.

YAN, L.; OGUTU, C.; HUANG, L.; WANG, X.; ZHOU, H.; LV, Y.; LONG, Y.; DONG, Y. & HAN, Y. Genetic diversity and population structure of coffee germplasm collections in China revealed by ISSR markers. **Plant Molecular Biology Reporter**, 37, 204–213, 2019. <http://doi.org/10.1007/s11105-019-01148-3>.

2.2 DIVERSIDADE GENÉTICA EM *Coffea arabica* A PARTIR DE CARACTERES AGRONÓMICOS A ANATÔMICOS FOLIARES

Resumo

Estudos de diversidade genética são de extrema importância, visando a maximização da produtividade e qualidade do café. Neste estudo, objetivou-se avaliar a diversidade genética por caracteres agronômicos e anatômicos foliares de diferentes cultivares de *Coffea arabica* cultivados no Parque Nacional de Gorongosa–Moçambique. Em um delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições e avaliação de nove cultivares, foram realizadas coletas de dados, amostras de folhas e epidermicas de Junho a Julho de 2021, na fase de maturação, onde as folhas foram secas em estufa e enviados de Moçambique para caracterização e análise laboratorial no Brasil. Os dados foram submetidos à análise de variância, seguidamente de comparação de médias pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0.05$) e estimativas de parâmetros genéticos e agrupamento pelo método hierárquico UPGMA. A análise de variância indicou parcialmente comportamento diferenciado entre os cultivares nas características avaliadas. O método de agrupamento UPGMA distinguiu os materiais em dois grupos, e a cultivar Catucaí Amarelo 2SL apresentou maior dissimilaridade comparativamente às demais. Houve correlações de Pearson positivas e negativas com níveis de significância variando de fraco a forte entre as variáveis avaliadas.

Palavra-chave: Café arábica. Estomátos. Biométrie. Variabilidade

Abstract

Genetic study diversity are extremely important, with a view to maximizing productivity and coffee quality. In this study, the objective was to evaluate genetic diversity by agronomic and leaf anatomical characters of different cultivars *Coffea arabica* cultivated in the Gorongosa National Park-Mozambique. In a randomized block experimental design, with four replications and evaluation of nine cultivars, data collection, leaf and epidermic samples were carried out from June to July 2021, in the maturation phase, where the leaves were dried in an oven and sent from Mozambique for characterization and laboratory analysis in Brazil. Data were subjected to variance analysis, followed by means comparison by Tukey's test at 5% probability level ($p \leq 0.05$) and estimates genetic parameters and clustering by hierarchical UPGMA method. The variance analysis partially indicated different behavior among the cultivars in evaluated characteristics. The UPGMA clustering method distinguished the materials into two groups, and the cultivar Catucaí Amarelo 2SL showed greater dissimilarity compared to the others. There were positive and negative Person correlations with significance levels ranging from weak to strong between the variables evaluated.

Keyword: Arabica coffee. stomata. Biometry. Variability

Introdução

O café é consideravelmente uma das *commodities* agronômicas de maior importância para a economia mundial e um dos mais valiosos produtos comercializados no mundo (DAVIS, 2011). O café é cultivado em 10,2 milhões de hectares de terras em mais de 80 países em regiões tropicais e subtropicais, especialmente na África, Ásia e América Latina, tendo como centro de origem e diversidade do café arábica nas terras altas do sudoeste da Etiópia (MISHRA et al., 2011a; SCALABRIN et al., 2020; JINGADE et al., 2021).

O *C. arabica* é consideravelmente uma espécie com baixa diversidade genética, devido à sua origem alotetraplóide, biologia reprodutiva (alta porcentagem predominante de autofecundação) bem como o processo evolutivo. Esse constitui um fator limitante, a diversidade genética é extremamente fundamental e constitui base em programas de melhoramento, favorecendo a seleção de genótipos superiores com as características desejadas (CHARRIER E BERTHAUD, 1985; DALCOMO et al., 2015). Desse modo, espécies de café diplóides podem servir como reservatórios, por serem consideradas fontes de extrema diversidade.

No café arábica, o padrão de crescimento é modificado aumentando o fotoperíodo para 14 horas. A remoção de frutas não inibe a diminuição da taxa de crescimento de galhos e folhas, peso embora esses órgãos sejam maiores em cafeeiros sem frutos. Porém, a mudança na taxa fotossintética potencial não explica a variação de crescimento, e a diminuição dessa taxa pode estar relacionada à resistência bioquímica nos cloroplastos. No entanto, estômato aumentado resistência à tarde coincide com reduções drásticas no crescimento de ramos e área foliar. O crescimento de folhas, ramos ortotrópicos e plagiotrópicos segue as curvas de mínimo, médio e temperaturas máximas (SILVA et al., 2004; AMARAL et al., 2006; PARTELLI et al., 2013).

A temperatura média anual ótima para o desenvolvimento do *C. arabica* está em intervalo de 18°C a 23°C (DAMATTA e RAMALHO, 2006). Temperaturas baixas, na faixa de 13°C a 17°C (dependendo dos autores e genótipos) e déficit hídrico acentuado (-3 MPa) afetam vários componentes do processo fotossintético, pois reduz a condutância estomática, fotossíntese líquida, eficiência fotoquímica do fotossistema II, transporte de elétron tilacoide, atividade enzimática e metabolismo do carbono como um todo. Não obstante, afetam a composição e estrutura dos complexos de pigmentos fotossintéticos e da matriz lipídica das membranas celulares, particularmente no cloroplasto, embora em extensão diferente entre genótipos e espécies (CAMPOS et al., 2003; RAMALHO et al., 2003; SILVA et al.,

2004, PRAXEDES et al., 2006; PARTELLI et al., 2009, 2011; BATISTA-SANTOS et al., 2011). Portanto, tais mudanças podem ocasionar deficiências ou danos, mas em alguns casos são respostas à aclimação ao frio da planta. Essa capacidade de aclimação em genótipos de café parece depender muito do controle de condições antioxidantes, frequentemente associada a um menor uso fotoquímico de energia através da fotossíntese, como observado baixas temperaturas (RAMALHO et al., 2003; FORTUNATO et al., 2010), déficit hídrico (RAMALHO et al., 1998; LIMA et al., 2002) e estresses de alta irradiância e deficiência de N (RAMALHO et al., 1998). Portanto, essas mudanças seriam configuram distintas características morfológicas e fisiológicas de aclimação em *Coffea* spp (PARTELLI et al., 2013).

Além disso, estresses de calor e seca, são os principais fatores ambientais que apresentam restrição ao crescimento das plantas e à produtividade das culturas, foram associadas à diminuições na condutância estomática (g_s) e taxas líquidas de assimilação de CO_2 (P_n) (LONG et al., 2005). Esses diminuem a predisposição das folhas a danos foto inibitórios devido a diminuição do uso de energia através da fotossíntese (BAKER e ROSENQVIST, 2004; LAMBERS et al., 2008; HAWORTH et al., 2018), que pode ser exacerbado quando essas tensões são sobrepostas. Consequentemente, o crescimento e a produtividade das culturas agrícolas estão deprimidos nestas condições em maior extensão do que cada tensão aplicada (SEHGAL et al., 2017; URBAN et al., 2018). No entanto, o tipo e a magnitude das respostas das plantas a estresses combinados geralmente diferem das respostas desencadeadas por exposição única ao estresse (MITTLER, 2006; SEHGAL et al., 2017). Portanto, este pode ser mais relevante para culturas perenes como café, que pode ter uma vida útil de até 30 anos ou mais (BUNN et al., 2015; DUBBERSTEIN et al., 2020).

Neste estudo, objetivou-se avaliar a diversidade genética por caracteres agronômicos e anatômicos foliares de diferentes cultivares de *C. arabica* cultivados no Parque Nacional de Gorongosa – Moçambique.

Material e Métodos

Instalação Experimental e Descrição da Área e Material Vegetal

O ensaio foi conduzido na Serra do Parque nacional de Gorongosa, uma das principais áreas de conservação e reflorestamento, localizada no distrito de Gorongosa, província de Sofala, região Central de Moçambique. A área está localizada a longitude 34° 04' 05" E entre as latitudes -18° 47' 99" e -18° 48' 05" S, numa altitude média de 960.7 m. Os meses de mais chuvosos Janeiro, Fevereiro e Abril, chagam a ter 616 milímetros por mês, a média da temperatura máxima é de aproximadamente 32°C nos meses mais quentes e de 12°C nos meses mais frios, o solo local foi estudado e classificado por apresentar textura argilosa com relevo ondulado baseado pelo triângulo de textura (SANTOS et al., 2018), as propriedades químicas e físicas são descritas na tabela 1.

O plantio foi realizado em Novembro de 2018, em uma lavora composta por nove cultivares de *C. arabica* (Tabela 2), dispostos em delineamento experimental de blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo os tratamentos constituídos pelos diferentes genótipos, e cada unidade experimental por 20 plantas. O plantio foi realizado em espaçamento de 2 metros entre linhas e 1.5 metros entre plantas (2x1.5), e ocupando 3m² por planta, equivalente a 3333 plantas por hectare, sendo todas nove cultivares propagados por semente. Quanto aos tratos culturais, apenas foi a capina manual, sem aplicação de adubos, inseticidas ou fungicidas, por ser uma área de conservação.

Tabela 1. Características químicas e granulométricas do solo da área experimental. Parque Nacional de Gorongosa, Sofala, Moçambique.

Atributos químicos		Resultados	
M.O.	Matéria Orgânica (Oxi-Red.)	dag/dm ³	5.5
pH	(água – Relação 1:2,5)	unid.	5.1
P	(Mehlich-1)	mg/dm ³	8.4
K	(Mehlich-1)	mg/dm ³	80
Ca	(Kcl-1 mol/L)	cmolc/dm ³	1.2
Mg	(Kcl-1 mol/L)	cmolc/dm ³	0.4
Al	(Kcl-1 mol/L)	cmolc/dm ³	0.60
H + Al	(Acetato de cálcio)	cmolc/dm ³	11.00
S.B.	(Soma de bases)	cmolc/dm ³	1.81
C.T.C.	(C.T.C. a pH = 7)	cmolc/dm ³	12.81
V%	(Saturação de bases)	%	14
%K C.T.C.	(% de K na C.T.C.)	%	2
%Ca C.T.C.	(% de Ca na C.T.C.)	%	9
%Mg C.T.C.	(% de Mg na C.T.C.)	%	3
%Al C.T.C.	(% de Al na C.T.C.)	%	4.7
%H+Al C.T.C.	(% de H + Al na C.T.C.)	%	86
P (Resina)		mg/dm ³	13.6
P-rem.	(Fósforo remanescente)	mg/L	13.0
Na	(Mehlich-1)	mg/dm ³	3

S	(Fosfato monocálcico ác. acético)	mg/dm ³	22
B	(Água quente)	mg/dm ³	0.20
Zn	(Mehlich-1)	mg/dm ³	1.4
Mn	(Mehlich-1)	mg/dm ³	30.6
Cu	(Mehlich-1)	mg/dm ³	4.9
Fe	(Mehlich-1)	mg/dm ³	28
Frações granulométrica (g kg ⁻¹)			
Areia	380	38 %	
Silte	118	12 %	
Argila	502	50 %	
Tipo de solo	3		

Tabela 2. Identificação das nove cultivares de *Coffea arabica*. Parque Nacional de Gorongosa. Sofala - Moçambique.

Identificação	Nome	Número de registo no MAPA
1	Catuaí Vermelho IAC 44	2929
2	Catuaí Amarelo 2SL	04915
3	Catuaí Amarelo IAC 39	02937
4	Catuaí 785-15	04996
5	Catuaí Vermelho 19/8	4909
6	Catuaí Vermelho IAC 81	2932
7	Acauã	4995
8	Catmor 128	
9	Costa Rica	

Até o momento, as cultivares Catmor 128 e Costa Rica não foram registrados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Produtividade, coleção de frutos e folhas

Entre Junho e Julho de 2021, quando as plantas estavam com aproximadamente 32 meses de plantio, foram avaliados caracteres agronómicos e anatômicos foliares de Junho à julho de 2021 num período de aproximadamente 60 dias (dois meses).

Os caracteres agronómicos, contaram com a altura das plantas (AP) medido da base ao ápice da copa em cm, diâmetro do ramo ortotrópico (DRO) medido na base da planta em cm, diâmetro da copa (DC) medido de uma extremidade a outra da copa em cm, comprimento de ramo plagiotrópico (CRP) medido da inserção no ramo ortotrópico ao ápice em cm, diâmetro do ramo plagiotrópico (DRP) medido na inserção do ramo em cm, número de internódios por ramo plagiotrópico (NNP) contagem manual, comprimento médio de internódios do ramo plagiotrópico (CMNP) estimado através da divisão do comprimento de ramo plagiotrópico pelo número de nós em cm, número de ramos plagiotrópicos (NRP) contagem manual, comprimento médio da folha (CMF) e largura média da folha (LMF) localizadas no terceiro ou quarto par a partir do ápice dos ramos plagiotrópicos em cm. As mensurações foram feitas com auxílio de uma fita métrica acoplada a uma régua de madeira, bem como paquímetro analógico para determinação do diâmetro. Na escolha do ramo plagiotrópico a ser avaliado, foi baseado em ramos na fase de produção situado no

terço inferior do ramo ortotrópico.

Amostras foliares foram coletadas (15 folhas) por repetição, totalizando 60 folhas por tratamento (genótipo), tomadas como base nos dois lados da planta entre as carreiras, no terço médio das plantas expostas ao sol, em folhas localizadas no terceiro ou quarto par de folhas a partir do ápice dos ramos plagiotrópicos. As folhas foram colocadas em sacos de papel e encaminhadas para secagem em estufa de circulação de ar forçada a 60°C até atingir massa constante. Determinou-se o peso seco de uma folha (PSF) com média das 15 folhas e massa específica da folha (MEF) com média de 5 pedaços em g/cm².

Para análise anatômica, foram coletadas amostras foliares no terceiro e/ou quarto par de folhas a partir do ápice dos ramos plagiotrópicos, situados no terço médio das plantas, sendo 3 folhas por repetição, num total de 12 folhas por tratamento (genótipo). Tecnicamente visando a obter a impressão epidérmica, fixou-se a solução de esmalte incolor na parte central da folha, por 5 minutos após secagem, foram submetidas a durex (fita adesiva) transparente, seguidamente montadas em lâminas. As amostras de impressão epidérmica das folhas foram coletadas em Moçambique e encaminhadas para análise laboratorial no Brasil.

Esses materiais (folha e solo) foram coletados e secos em Moçambique, seguidamente encaminhado sob o processo número 559/PIF/2021 e 560/PIF/201 para laboratório de análises no Brasil com permissão de importação no MAPA número 319/2021 (processo MAPA: 21000.046781/2021-91) e MAPA número 320/2021 (processo MAPA: 21000.046784/2021-25) para determinação da massa específica e análise estomática.

Num total de doze lâminas por genótipo foram observadas e fotografadas em microscópio óptico (Motic BA210, equipado com uma câmera Motic Cam 3® 3.0 MP e software Motic Images Plus 2.0), de cada lâmina foi feita imagem de 5 pontos distintos na face abaxial. Posteriormente, foram analisadas 60 fotos de cada genótipo com base no programa Anati Quanti2 (AGUIAR et al., 2004), CE (número de células epidérmicas por mm²); NE (número de estômatos por mm²); DE (densidade estomática - número de estômatos por unidade de área foliar); IAE (índice de área estomática - DP x DQ); IE (índice estomático – relação percentual entre o NE e somatório de número de células epidérmicas com NE) e a FUN (funcionalidade estomática – relação entre diâmetro polar em µm e diâmetro equatorial em µm (DP/DQ)) conforme CASTRO et al. (2009).

Análises estatísticas

Para todas variáveis, foi realizada análise multivariada (MANOVA) a partir dos componentes de variância. Para cada característica avaliada foram estimados os seguintes parâmetros: coeficiente de variação ambiental (C_{Ve}), coeficiente de variação genética (C_{Vg}), índice de variação (IV) e herdabilidade (h²). As diferenças entre os valores médios foram submetidos ao teste de comparação de médias de Tukey ao mesmo nível de significância.

Para estudar a divergência genética, foi determinado a Matriz generalizada de distância de Mahalanobis (D²) e usada como medida de dissimilaridade para analisar o agrupamento de genótipos pelo método de Tocher e pelo método UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*) usando médias aritméticas. Para estabelecer um ponto de corte no dendrograma e definir o número de grupos foi utilizado o procedimento de MOJENA (1977), baseado no tamanho relativo dos níveis de fusões (distâncias) no dendrograma.

Para a visualização do dendrograma, utilizou-se o software R, pacote Circlize (GU et al., 2014).

A contribuição relativa dos caracteres para a divergência genética entre as cultivares foi determinada de acordo com SINGH, (1981). Todas as variáveis foram submetidas à análise de correlação de Pearson convista efetuar as correlações lineares simples para as combinações. A análise foi realizada utilizando o software Genes (CRUZ, 2016).

Resultados e discussão

Para todas as variáveis avaliadas não foram observadas diferenças significativas pelo teste F a 1% de probabilidade, exceto para o peso seco da folha, número de células epidérmicas e funcionalidade estomática, indicando que as cultivares apresentam comportamento diferenciado nas condições do ensaio (Tabela 3). Os resultados observados, evidenciam a heterogeneidade genética da população avaliada, fato esse de fundamental importância em programas de melhoramento genético.

De modo geral, verificou-se neste estudo valores de coeficiente de variação ambiental (CVe) e coeficiente de variação genético (CVg) variando de 0 a 11.74% e 0 a 8.89 conforme as variáveis avaliadas. De acordo com Pimentel GOMES (1985) estes valores são classificados como baixos e médios, ao propor uma classificação para o CV que considera baixo quando inferior a 10%; médio, entre 10 e 20%; alto, entre 20 e 30%; e muito alto, quando superior a 30%. A classificação do CV é inversamente proporcional à classificação da precisão do experimento, ou seja, quanto maior o CV menor a precisão experimental. Assim, CV baixo representa alta precisão, CV médio, média precisão, CV alto, baixa precisão e CV muito alto, muito baixa precisão experimental. Os resultados observados se encontram encontra-se em níveis aceitáveis, o que indica boa acurácia e precisão experimental para as variáveis avaliadas (FERRÃO et al., 2008; FRITSCHÉ-NETO et al., 2012; COUTO et al., 2013, DUBBERSTEIN, 2019).

Deste modo, os valores das variâncias ambientais CVe foram superiores as variâncias genéticas CVg em todas as variáveis, exceto para o peso seco da folha. O menor CVe observado no estudo foi para o NNRP, CMF, LMF, ME e DP, obtendo-se menor valor (0%) praticamente sem variação ambiental, expressando-se maior valor para o NE e DE (11.74%), em relação as demais variáveis que estão abaixo de 10%. Similarmente ao que aconteceu com o CVe, menor CVg foi observado para o NNRP, CMF, LMF, ME e DP (0%), sendo o PSF com maior valor (8.89%).

A relação CVg/CVe definida como índice de variação (IV) reflete a predominância de efeitos genéticos expressos para os caracteres avaliados. Valores de b (IV) iguais ou acima da unidade significam populações favoráveis para o melhoramento genético (VENKOVSKY, 1978). A variável com maior Índice de variação (CVg/CVe) foi o PSF com o valor em torno de 1.08, considerando-se importante caráter na seleção de genótipos superiores. GILES et al. (2019) avaliaram 30 genótipos de *C. canephora* e 4 de *C. arabica* e encontraram valores de 0.59 a 1.94 e os considerou aptos para uso em programas de melhoramento (FALUBA et

al., 2010; GILES et al., 2019).

Para a herdabilidade (h^2) baseada na relação entre variância genotípica e fenotípica, a maior média foi observada no PSF em 82.4%, considerado alto ($h^2 > 50\%$), portanto, estando favorável ao recomendado o uso de caracteres com valores acima de 80% que garantem maiores ganhos genéticos com seleção bem como auxilia na escolha do método mais adequado a ser utilizado (FALCONER, 1983; RUFINO, et al., 2010). Assim, a herdabilidade elevada está associada com uma maior variância genética aditiva, menor variação ambiental e menor interação genótipo ambiente (FEHR, 1987; CARIAS et al., 2014; DUBBERSTEIN et al., 2019).

Tabela 3. Resumo da análise de variância para caracteres agronômicos e anatômicos foliares em nove cultivares de *Coffea arabica* e respectivos parâmetros genéticos. Parque Nacional de Gorongosa, Sofala, Moçambique.

Variáveis	QM		Média	CVe (%)	CVg (%)	VI	h^2 (%)
	Cultivar	Resíduo					
AP	69.8 ns	57.3	94.5	8.01	1.87	0.23	17.9
DC	148.8 ns	91.5	129.2	7.41	2.93	0.40	38.5
DRO	0.08 ns	0.07	3.61	7.09	1.91	0.27	22.5
NRP	17.0 ns	14.3	42.8	8.83	1.94	0.22	16.2
DRP	0.006 ns	0.003	0.937	5.79	2.90	0.50	50.1
CRP	44.9 ns	29.2	66.2	8.17	2.99	0.37	34.9
NNRP	2.86 ns	3.55	23.3	0.00	0.00	0.00	0.0
DEN	0.08 ns	0.05	2.85	8.11	2.99	0.37	35.2
CMF	0.21 ns	0.30	13.8	0.00	0.00	0.00	0.0
LMF	0.08ns	0.08	6.04	0.00	0.00	0.00	0.0
PSF	0.02**	0.003	0.65	8.22	8.89	1.08	82.4
ME	0	0	0	0.00	0.00	0.00	0.0
CE	74.45**	20.94	75.52	6.06	4.84	0.80	71.87
NE	6.97ns	6.26	21.31	11.74	1.99	0.17	10.31
IE	2.50ns	2.14	21.97	6.66	1.36	0.20	14.37
DE	587.36ns	524.95	195.23	11.74	2.02	0.17	10.63
AG	4059963.99ns	3213372.46	95352.16	1.88	0.48	0.26	20.85
P	4.21ns	3.33	97.08	1.88	0.48	0.26	20.79
DP	0.62ns	2.31	34.41	0.00	0.00	0.00	0.00
DQ	1.08ns	0.76	19.88	4.40	1.41	0.32	29.24
FUN	0.009*	0.003	1.73	3.32	2.17	0.65	63.12

** Significativo a 1% pelo teste F; ns Não significativo a 1% pelo teste F; CVe: Coeficiente de variação ambiental; CVg: Coeficiente de variação genético; IV: Índice de variação (CVg/CVe); h^2 : Herdabilidade; AP: Altura da planta; DRO: Diâmetro do ramo ortotrópico; NRP: Número de ramos plagiotrópicos; DRP: Diâmetro do ramo plagiotrópico; CRP: Comprimento ramo plagiotrópico; NNRP: Número de nos no ramo plagiotrópico; DEN: Distância de entre nó; CMF: Comprimento medio das folhas; LMF: Largura média das folhas; PSF: Peso seco da folha; ME: Massa específica; CE: Células epidérmicas; NE: Número de estômatos; IE: Índice estomático (%); DE: Densidade estomática (unid. mm⁻²); AG: Área geral; P: Percentual; DP: Diâmetro polar (µm); DQ: Diâmetro equatorial (µm); FUN: Funcionalidade estomática.

O teste de Tukey mostrou variabilidade parcial entre os cultivares para variáveis agronômicas avaliadas (Tabela 4). A proporção do coeficiente de variação experimental variou de 4.01% a 8.83%, consideravelmente baixo para todas as características avaliadas, indicando boa precisão experimental. A altura da planta (AP), Diâmetro da copa (DC), Diâmetro do ramo ortotrópico (DRO), Número de ramos plagiotrópicos (NRP), Diâmetro do ramo plagiotrópico (DRP), Comprimento ramo plagiotrópico (CRP), Número de nós no ramo plagiotrópico (NNRP), Distância de entre nó (DEN), Comprimento médio das folhas (CMF) e Largura média das folhas (LMF) não diferiram entre si e apresentaram um coeficiente de variação 4.01% a 8.83%.

Foi observada diferença significativa no Peso seco da folha (PSF), as cultivares foram discriminadas em três grupos. O primeiro grupo foi formado pela cultivar Catmor 128 que apresentou a maior média (0.78), e o segundo grupo foi formado pela cultivar Costa Rica, Acauã e Catucaí 785-15 com as médias (0.70, 0.66 e 0.67). O terceiro grupo foi representado formado pelas cultivares Catuaí Vermelho IAC 81, Catucaí Vermelho 19/8, Catuaí Amarelo IAC 39, Catucaí Amarelo 2SL e Catuaí Vermelho IAC 44 com as menores médias (0.63, 0.61, 0.61, 0.57 e 0.58).

Em relação a massa específica (ME), diferiu significativamente entre os genótipos e foram as mais irregulares, formando oito grupos com composições mais balanceadas, onde apenas Catuaí Vermelho IAC 44 e Catuaí Vermelho IAC 81 formaram um único grupo. Assim, Catmor 128 e Costa Rica tiveram as maiores médias (0.014) e cada uma formou seu próprio grupo, e o menor valor, foi observado na cultivar Catucaí Amarelo 2SL (0.11) respectivamente.

Tabela 4. Carateres agronómicos em nove cultivares de *Coffea arabica* cultivadas em Parque Nacional de Gorongosa, Moçambique.

Genótipos	AP	DC	DRO	NRP	DRP	CRP	NNRP	DEN	CMF	LMF	PSF	ME
Catuaí Vermelho IAC 44	89.4a	118.8a	3.45a	42.4a	0.95a	64.9a	23.3a	2.80a	14.3a	6.09a	0.58b	0.012g
Catuaí Amarelo 2SL	103.7a	134.7a	3.50a	44.9a	0.91a	69.3a	22.5a	3.11a	13.7a	5.96a	0.57b	0.011h
Catuaí Amarelo IAC 39	91.8a	132.7a	3.59a	43.7a	0.92a	66.7a	23.8a	2.81a	13.6a	5.93a	0.61b	0.012f
Catuaí 785-15	92.0a	128.2a	3.65a	42.8a	1.00a	66.5a	23.8a	2.81a	13.8a	5.98a	0.67ab	0.012e
Catuaí Vermelho 19/8	92.8a	129.0a	3.42a	42.4a	0.93a	67.8a	23.5a	2.89a	13.8a	6.16a	0.61b	0.013d
Catuaí Vermelho IAC 81	97.8a	133.3a	3.78a	44.6a	0.90a	63.1a	23.7a	2.68a	13.7a	5.85a	0.63b	0.012g
Acauã	94.2a	136.6a	3.56a	42.3a	1.00a	71.6a	24.8a	2.90a	13.7a	6.04a	0.66ab	0.013c
Catmor 128	95.3a	128.8a	3.70a	38.0a	0.91a	65.7a	21.9a	3.00a	13.5a	6.32a	0.78a	0.014a
Costa Rica	93.5a	120.6a	3.84a	44.2a	0.92a	60.2a	22.7a	2.66a	13.7a	6.01a	0.70ab	0.014b
CV (%)	8.01	7.40	7.09	8.83	5.78	8.17	8.08	8.11	4.01	4.70	8.23	7.55

Observação. As médias seguidas pela mesma letra em uma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação; AP: Altura da planta; DC: Diâmetro da copa; DRO: Diâmetro do ramo ortotrópico; NRP: Número de ramos plagiotrópicos; DRP: Diâmetro do ramo plagiotrópico; CRP: Comprimento ramo plagiotrópico; NNRP: Número de nós no ramo plagiotrópico; DEN: Distância de entre nó; CMF: Comprimento médio das folhas; LMF: Largura média das folhas; PSF: Peso seco da folha; ME: Massa específica.

Tabela 5. Características anatômicas foliares em nove cultivares de *Coffea arabica* cultivadas em Parque Nacional de Gorongosa, Moçambique.

Genótipos	CE	NE	IE	DE	AG	P	DP	DQ	FUN
Catuaí Vermelho IAC 44	66.2b	19.8a	23.0a	181.0a	96440.2a	98.2a	35.0a	19.9a	1.76a
Catuaí Amarelo 2SL	82.2a	23.4a	21.9a	214.4a	95823.8a	97.6a	33.9a	19.8a	1.72a
Catuaí Amarelo IAC 39	77.7a	21.6a	21.8a	197.8a	95546.9a	97.3a	33.9a	20.3a	1.68a
Catuaí 785-15	73.1ab	21.2a	22.5a	194.6a	96095.3a	97.8a	34.1a	18.9a	1.80a
Catuaí Vermelho 19/8	76.1ab	22.9a	23.0a	209.4a	95722.1a	97.5a	34.4a	19.6a	1.76a
Catuaí Vermelho IAC 81	74.3ab	19.2a	20.6a	176.2a	92979.6a	94.7a	34.8a	20.6a	1.70a
Acauã	76.6ab	21.3a	21.8a	194.9a	95615.1a	97.4a	34.2a	20.4a	1.68a
Catmor 128	76.6ab	21.7a	22.0a	198.5a	94946.3a	96.7a	34.6a	20.1a	1.72a
Costa Rica	76.9ab	20.8a	21.2a	190.3a	95000.2a	96.7a	34.8a	19.4a	1.80a
CV (%)	6.06	11.7	6.66	11.7	1.88	1.88	4.41	4.40	3.32

Observação. As médias seguidas pela mesma letra em uma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV: coeficiente de variação; CE: Células epidérmicas; NE: Número de estômatos; IE: Índice estomático (%); DE: Densidade estomática (unid. mm⁻²); AG: Área geral; P: Percentual; DP: Diâmetro polar (µm); DQ: Diâmetro equatorial (µm); FUN: Funcionalidade estomática.

As variáveis analisadas apresentaram comportamento semelhante em todas cultivares nas variáveis anatômicas avaliadas, exceto para o número de células epidérmicas, todas submetidas ao teste de Tukey (Tabela 5), as quais apresentaram coeficiente de variação de 1.88% a 11.7%, classificadas por Pimentel Gomes (1985) como baixos e médios, expressando uma boa precisão experimental. Deste modo, entre o número de estômatos (NE), índice estomático (IE), densidade estomática (DE), área geral (AG), percentual (P), diâmetro polar (DP), diâmetro equatorial (DQ) e funcionalidade estomática (FUN) não foi observada diferença significativa, tendo o coeficiente de variação de 1.88% a 11.7%. Em similaridade, estudos desenvolvidos por JINGADE et al. (2021), não observaram diferenças significativas na frequência estomática entre as espécies de café.

O número de células epidérmicas foi dividido em três grupos de dissimilaridade, onde os cultivares Catucaí Amarelo 2SL e Catuaí Amarelo IAC 39 formaram um grupo próprio com maiores médias (82.2 e 77.7). O segundo grupo foi representado pelas cultivares Costa Rica, Catmor 128, Acauã, Catuaí Vermelho IAC 81, Catucaí Vermelho 19/8 e Catucaí 785-15 (76.9, 76.6, 76.6, 74.6, 76.1 e 73.1). A menor média foi observada no cultivar Catuaí Vermelho IAC 44 (66.2), em relação aos demais.

Com o agrupamento dos genótipos pelo método hierárquico UPGMA (*Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean*), utilizando a distância generalizada de Mahalanobis como medida de dissimilaridade, considerando variáveis biométricas e anatômicas, porém, tendo se descartado variáveis altamente correlacionadas, pois, caracteres redundantes, por estarem correlacionados a outros são dispensáveis em estudos de divergência genética (JOLLIFFE, 1972; 1973; DUBBERSTEIN, 2019). Observou-se no limite máximo de corte de 45% de dissimilaridade entre as cultivares, a formação de dois grupos (Figura 1). Assim, no grupo I foi representado por sete genótipos (Catucaí Amarelo 2SL, Costa Rica, Catuaí Amarelo IAC 39, Catucaí Vermelho 19/8, Catmor 128, Catucaí 785-15 e Acauã), e o grupo II por apenas duas cultivares (Catuaí Vermelho IAC 44 e Catuaí Vermelho IAC 81).

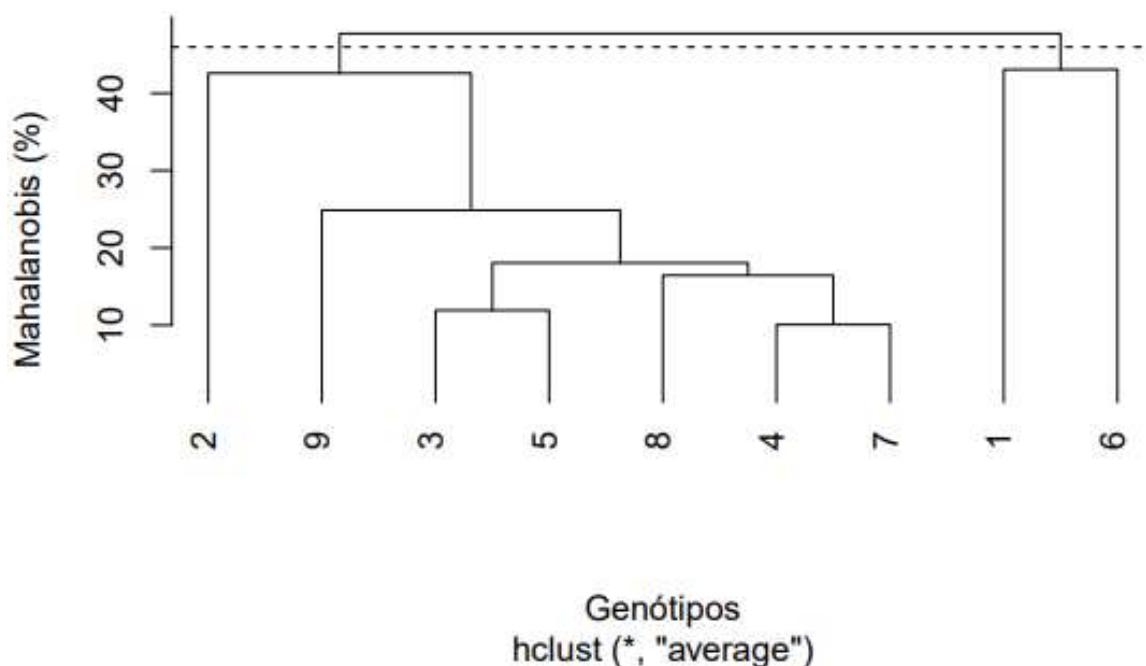


Figura 1. Dendrograma representando a dissimilaridade entre nove cultivares de *Coffea arabica*, considerando caracteres agronômicos e anatômicos foliares, obtidos pelo agrupamento UPGMA utilizando a distância generalizada de Mahalanobis.

Tanto o método UPGMA bem como no Tocher diferiram no agrupamento. Realizado o agrupamento das cultivares com base no método de otimização de Tocher foi possível observar a formação de três grupos, dos quais um grupo continha apenas uma cultivar (Tabela 6). O grupo I com expressão de 6 cultivares (Catuaí 785-15, Acauã, Catmor 128, Catuaí Vermelho 19/8, Catuaí Amarelo IAC 39 e Costa Rica), e o grupo II composto por duas cultivares (Catuaí Vermelho IAC 44 e Catuaí Vermelho IAC 81). Cultivar Catuaí Amarelo 2SL isolou-se formando seu próprio grupo III. A formação desses grupos expressa a variabilidade genética entre as cultivares estudadas, pois o método minimiza a distância intragrupo e maximiza as distâncias intergrupo.

Tabela 6. Clusters formados a partir de nove cultivares *Coffea arabica*, considerando caracteres agronômicos e anatômicos foliares, obtidos pelo método de Tocher, na distância generalizada de Mahalanobis (D2), com distância média entre clusters: 72.26809. Parque Nacional de Gorongosa, Gorongosa, Moçambique.

Grupos	Genótipos
I	Catuaí 785-15, Acauã, Catmor 128, Catuaí Vermelho 19/8, Catuaí Amarelo IAC 39, Costa Rica
II	Catuaí Vermelho IAC 44, Catuaí Vermelho IAC 81
III	Catuaí Amarelo 2SL

Atraves de correlação de Person para todas as variáveis, observou-se 15.23% de correlações significativas, entre elas positivas e negativas (Tabela 7). De acordo com CABRAL et al. (2016), são classificados com correlação muito fraca de 0.0 a 0.19; fraca 0.2 a 0.39; moderada de 0.4 a 0,69; forte de 0.7 a 0.89; e muito forte de 0.9 a 1.0.

Nas variáveis estudadas, correlações simultaneamente positivas e significativas variaram de 0.63 a 1.0, ao que significa tratar-se de variáveis com correlação diretamente proporcionais, isto é, quando uma aumenta a outra também aumenta. Desse modo, notou-se que o CE afeta no NE, DE, AP, DC; o NE interfere a DE e a DEN; o IE interfere a AG e P; a DE afeta a DEN; a AG interfere P; o DC afeta CRP; o DRO afeta o PSF; o DRP interfere NNRP; o CRP afeta a DEN; a LMF e PSF interferem na ME.

Pode se observar entre algumas variáveis, correlações significativamente negativas em intervalo de -0.59 a -0.90, em que uma variável aumenta em virtude da diminuição da outra, sendo nesse caso inversamente proporcionais. Esse fato, é observável em CE para DP e CMF; NE e DP; IE e DRO; DE e DP; AG e DRO; P e DRO; DP para DC e CRP; DQ e FUN; FUN e DC; DC e CMF; DRO e CRP; e NRP para LMF, PSF e ME;

Tabela 7. Matriz de correlação de Person entre caracteres agronômicos biométricos e anatômicos foliares em nove cultivares de *Coffea arabica* cultivadas em Parque Nacional de Gorongosa, Moçambique.

	CE	NE	IE	DE	AG	P	DP	DQ	FUN	AP	DC	DRO	NRP	DRP	CRP	NNRP	DEN	CMF	LMF	PSF	ME
CE	—																				
NE	0.70*	—																			
IE	-0.39	0.37	—																		
DE	0.71*	1.0***	0.37	—																	
AG	-0.17	0.46	0.84**	0.45	—																
P	-0.16	0.47	0.84**	0.46	1.0***	—															
DP	-0.65*	-0.69*	-0.09	-0.71*	-0.34	-0.35	—														
DQ	0.09	-0.28	-0.46	-0.29	-0.52	-0.50	0.10	—													
FUN	-0.34	-0.03	0.35	-0.04	0.32	0.29	0.33	-0.90***	—												
AP	0.72*	0.40	-0.46	0.41	-0.36	-0.35	-0.32	0.21	-0.32	—											
DC	0.64*	0.36	-0.33	0.37	-0.27	-0.26	-0.69*	0.49	-0.75**	0.57	—										
DRO	0.13	-0.48	-0.80**	-0.47	-0.69*	-0.71*	0.30	0.03	0.13	0.10	-0.10	—									
NRP	0.19	-0.08	-0.37	-0.07	-0.14	-0.15	-0.20	-0.04	0.03	0.30	0.12	0.05	—								
DRP	-0.33	-0.06	0.40	-0.06	0.53	0.53	-0.23	-0.35	0.19	-0.44	0.04	-0.24	-0.11	—							
CRP	0.30	0.58	0.39	0.58	0.45	0.47	-0.68*	0.18	-0.50	0.22	0.68*	-0.69*	-0.14	0.46	—						
NNRP	-0.22	-0.26	0.01	-0.26	0.06	0.06	-0.24	0.21	-0.29	-0.35	0.37	-0.21	0.32	0.65*	0.41	—					
DEN	0.49	0.78**	0.37	0.78**	0.40	0.42	-0.54	0.03	-0.30	0.53	0.44	-0.54	-0.34	-0.03	0.72*	-0.33	—				
CMF	-0.81**	-0.37	0.55	-0.37	0.46	0.45	0.45	-0.21	0.39	-0.45	-0.61*	-0.49	0.16	0.30	-0.09	0.18	-0.22	—			
LMF	-0.11	0.30	0.53	0.29	0.31	0.31	0.24	-0.13	0.16	-0.24	-0.29	-0.23	-0.90***	0.00	0.12	-0.47	0.43	-0.03	—		
PSF	0.09	-0.10	-0.24	-0.10	-0.27	-0.28	0.22	-0.09	0.14	-0.12	-0.11	0.64*	-0.70*	0.03	-0.28	-0.35	-0.06	-0.54	0.55	—	
ME	0.00	-0.08	-0.09	-0.09	-0.17	-0.17	0.43	-0.06	0.22	-0.34	-0.33	0.43	-0.59*	-0.03	-0.34	-0.24	-0.22	-0.32	0.63*	0.81**	—

Os valores destacados em verde e vermelho significam correlações significativas positivas e negativas, respetivamente * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

AP: Altura da planta; DRO: Diâmetro do ramo ortotrópico; NRP: Número de ramos plagiotrópicos; DRP: Diâmetro do ramo plagiotrópico; CRP: Comprimento ramo plagiotrópico; NNRP: Número de nós no ramo plagiotrópico; DEN: Distância de entre nó; CMF: Comprimento medio das folhas; LMF:

Largura média das folhas; PSF: Peso seco da folha; ME: Massa específica; CE: Células epidérmicas; NE: Número de estômatos; IE: Índice estomático (%); DE: Densidade estomática (unid. mm⁻²); AG: Área geral; P: Percentual; DP: Diâmetro polar (µm); DQ: Diâmetro equatorial (µm); FUN: Funcionalidade estomática.

Conclusões

Existe variabilidade genética parcial entre os 9 cultivares de *C. arabica*;

O método de agrupamento UPGMA distinguiu os materiais em dois grupos;

A cultivar Catucaí Amarelo 2SL apresenta maior dissimilaridade comparativamente as demais;

Altura de planta e o diâmetro da copa podem se correlacionar ao número de células epidérmicas, caso similar é observado na distância entrenós podendo se correlacionar com características número de estômatos e densidade estomática.

Referências

- AGUIAR, A. T. E.; GUERREIRO-FILHO, O.; MALUF, M. P.; GALLO, P. B.; FAZUOLI, L. C. Caracterização de cultivares de *Coffea arabica* mediante utilização de descritores mínimos. **Bragantia**, v.63, n.2, p.179-192, 2004.
- AMARAL, J. A. T.; RENA, A. B.; AMARAL, J. F. T. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e sua relação com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41:377–384, 2006.
- AMARAL, J. F. T.; MARTINEZ, H. E. P.; LAVIOLA, B. G.; FERNANDES FILHO, E. I.; CRUZ, C. D. Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. **Ciência Rural**, v.41, n.4, p.621-629, 2011.
- BATISTA-SANTOS, P.; LIDON, F. C.; FORTUNATO, A.; LEITÃO, A. E.; LOPES, E.; PARTELLI, F. L.; RIBEIRO, A. I.; RAMALHO, J. C. The impact of cold on photosynthesis in genotypes of *Coffea* spp. — photosystem sensitivity, photoprotective mechanisms and gene expression. **Journal Plant Physiol**, 168:792–806, 2011.
- CAMPOS, P. S.; QUARTIN, V.; RAMALHO, J. C.; NUNES, M. A. Electrolyte leakage and lipid degradation account for cold sensitivity in leaves of *Coffea* sp. plants. **Journal Plant Physiol**, 160:283–292, 2003.
- CASTRO, R. D. & MARRACCINI, P. Cytology, biochemistry and molecular changes during coffee fruit development. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, 18, 175–199, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100013>.
- CHARRIER, A.; BERTHAUD, J. Botanical classification of coffee. In: Coffee - Botany, biochemistry and production of beans and beverage. CLINFFORT, M.N. & WILLSON, K.C. (eds.), Springer, Boston MA, 1985.
- CRUZ, C. D. Programa Genes – Ampliado e integrado aos aplicativos R, Matlab e Selegen. **Acta Scientiarum Agronomy**, 38, 547–552, 2016. Doi: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i3.32629>.
- DaMatta, F. M.; Ramalho, J. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal Plant Physiol**, 18:55–81, 2006.
- DAVIS, A. P.; TOSH, F.L.J.; RUCH, N.; & FAY, M.F. Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data: Implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. **Botanical Journal of the Linnean Society**, 167, 357–377, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2011.01177.x>.
- Fortunato, A.; Lidon, F. C.; Batista-Santos, P.; Leitão, A. E.; Pais, I. P.; Ribeiro, A. I.; Ramalho, J. C. Biochemical and molecular characterization of the antioxidative system of *Coffea* sp. under cold conditions in genotypes with contrasting tolerance. **Journal Plant Physiol**, 167:333–342, 2010.
- GOMES, W.R.; RODRIGUES, W.P.; VIEIRA, H.D.; OLIVEIRA, M.G.; DIAS, J.R.M.; & PARTELLI, F.L. Genetic diversity of standard leaf nutrients in *Coffea canephora* genotypes during phenological phases. **Genetics and Molecular Research**, 15 (4):1–13, 2016. Doi: 10.4238/gmr.15048839.

JINGADE, P.; KUMAR, C. H. A.; KUMAR, M. M. First report on genome size and ploidy determination of five indigenous coffee species using flow cytometry and stomatal analysis genetics & evolutionary biology - original article, **Brazilian Journal of Botany**, 44:381–389, 2021. <https://doi.org/10.1007/s40415-021-00714-y>

MISHRA, M. K.; TORNINCASA, P.; DE-NARDI, B.; ASQUINI, E.; DREOS, R.; TERRA, L. D.; RATHINAVELU, R.; ROVELLI, P.; PALLAVICINI, A.; GRAZIOSI, G. Genome organization in coffee as revealed by EST PCR-RFLP, SNPs and SSR Analysis. **Journal Crop Science Biotechnol**, 14:25–37, 2011.

SCALABRIN, S.; TONIUTTI, L.; DI GASPERO, G.; SCAGLIONE, D.; MAGRIS G.; VIDOTTO, M.; PINOSIO, S.; CATTONARO, F.; MAGNI, F.; JURMAN, I.; CERUTTI, M.; LIVERANI, F. S.; NAVARINI, L.; DEL TERRA, L.; PELLEGRINO, G.; RUOSI, M. R.; VITULO, N.; VALLE, G.; PALLAVICINI, A.; GRAZIOSI, G.; KLEIN, P. E.; BENTLEY, N.; MURRAY, S.; SOLANO, W.; AL HAKIMI, A.; SCHILLING, T.; MONTAGNON, C.; MORGANTE, M.; BERTRAND, B. A single polyploidization event at the origin of the tetraploid genome of *Coffea arabica* is responsible for the extremely low genetic variation in wild and cultivated germplasm. **Sci Rep**, 10:4642, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61216-7>

Zhang, K.; Yao, L.; Meng, J.; Tao, J. MaxEnt modeling for predicting the potential geographical distribution of two peony species under climate change. **Sci. Total Environ**, 634, 1326–1334, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.112>.

ZHANG, S.; LIU, X.; LI, R.; WANG X.; CHENG, J.; YANG, Q.; KONG, H. AHP-GIS and MaxEnt for delineation of potential distribution of Arabica coffee plantation under future climate in Yunnan. **Ecological Indicators**, 132, 108339, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108339>.

3 CONCLUSÕES GERAIS

Existe divergencia genética na caracterização dos frutos, concentração e acúmulo de nutrientes, e caracteres agronômicos no cultivares de *Coffea arabica* avaliados.

Os cultivares avaliadas apresentaram maior acúmulo na maioria dos macronutrientes e alguns micronutrientes no grão, fruto e palha. N, K e Ca foram os mais macronutrientes encontrados no grão, fruto e palha, sendo, no entanto o Fe, Mn e B os mais micronutrientes mais acumulados no grão, fruto e palha do *C. arabica*.

Altura de planta e o diâmetro da copa podem se correlacionar ao número de células epidérmicas, caso similar é observado na distância entrenós podendo se correlacionar com características número de estômatos e densidade estomática.

4 REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. T. E.; GUERREIRO-FILHO, O.; MALUF, M. P.; GALLO, P. B.; FAZUOLI, L. C. Caracterização de cultivares de *Coffea arabica* mediante utilização de descritores mínimos. **Bragantia**, v.63, n.2, p.179-192, 2004.
- AMARAL, J. A. T.; RENA, A. B.; AMARAL, J. F. T. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e sua relação com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 41:377–384, 2006.
- AMARAL, J. F. T.; MARTINEZ, H. E. P.; LAVIOLA, B. G.; FERNANDES FILHO, E. I.; CRUZ, C. D. Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. **Ciência Rural**, v.41, n.4, p.621-629, 2011.
- BATISTA-SANTOS, P.; LIDON, F. C.; FORTUNATO, A.; LEITÃO, A. E.; LOPES, E.; PARTELLI, F. L.; RIBEIRO, A. I.; RAMALHO, J. C. The impact of cold on photosynthesis in genotypes of *Coffea* spp. — photosystem sensitivity, photoprotective mechanisms and gene expression. **Journal Plant Physiol**, 168:792–806, 2011.
- BRAGANÇA, S.M.; MARTINEZ, H.E.P.; LEITE, H.G.; SANTOS, L.P.; SEDIYAMA, C.S.; ALVAREZ, V.V.H. & LANI, J.A. B. Cu, Fe, Mn & Zn accumulation by Conilon coffee plant. **Revista Ceres**, 54: 398-404, 2007.
- BRIDSON, D.M. “*Coffea*” in Flora Zambesiaca, ed G. V. Pope (Kew: Royal Botanic Gardens), 452–463, 2003.
- BRIDSON, D.M.; POLHILL, R.M. & VERDCOURT, B. “*Coffea*” in Flora of Tropical East Africa, *Rubiaceae*, 703–723, 1988.
- CAMPOS, P. S.; QUARTIN, V.; RAMALHO, J. C.; NUNES, M. A. Electrolyte leakage and lipid degradation account for cold sensitivity in leaves of *Coffea* sp. plants. *Journal Plant Physiol*, 160:283–292, 2003.
- CAMPOS, R.C.; PINTO, V.R.A.; MELO, L.F.; ROCHAC, S.J.S.S. & COIMBRA, J.S. New sustainable perspectives for “Coffee Wastewater” and other by-products: A critical review, 1-7, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100058>.
- CASTRO, R. D. & MARRACCINI, P. Cytology, biochemistry and molecular changes during coffee fruit development. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, 18, 175–199, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100013>.
- CASTRO, R. D. & MARRACCINI, P. Cytology, biochemistry and molecular changes during coffee fruit development. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, 18, 175–199, 2006. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100013>.
- CHARRIER, A.; BERTHAUD, J. Botanical classification of coffee. In: Coffee - Botany, biochemistry and production of beans and beverage. CLIFFORT, M.N. & WILLSON, K.C. (eds.), Springer, Boston MA, 1985.
- COVRE, A.M.; PARTELLI, F.L.; BONOMO, R. & GONTIJO, I. Micronutrients in the fruits and leaves of irrigated and non-irrigated coffee plants. **Journal of Plant Nutrition**, 41 (9):1119–29, 2018. Doi: 10.1080/01904167.2018.1431665.

CRUZ, C. D. Programa Genes – Ampliado e integrado aos aplicativos R, Matlab e Selegen. **Acta Scientiarum Agronomy**, 38, 547–552, 2016. Doi: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i3.32629>.

CRUZ, C.D. Programa Genes – Ampliado e integrado aos aplicativos R, Matlab e Selegen. **Acta Scientiarum Agronomy**, 38, 547–552, 2016. Doi: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v38i3.32629>.

DaMatta, F. M.; Ramalho, J. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal Plant Physiol**, 18:55–81, 2006.

DAVIS, A. P.; TOSH, F.L.J.; RUCH, N.; & FAY, M.F. Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data: Implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. **Botanical Journal of the Linnean Society**, 167, 357–377, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2011.01177.x>.

DAVIS, A. P.; TOSH, F.L.J.; RUCH, N.; & FAY, M.F. Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data: Implications for the size, morphology, distribution and evolutionary history of *Coffea*. **Botanical Journal of the Linnean Society**, 167, 357–377, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2011.01177.x>.

DAVIS, A.P.; GARGILO, R.; ALMEIDA, I.N.M.; CARAVELA, M.I.; DENISON, C. & MOAT, J. The identity, climate profiles, agronomy, and beverage characteristics of *coffea racemose* and *C. zanguebariae*. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, Vol. 5, Art. 740137, 2021. Doi: 10.3389/fsufs.2021.740137.

FLÁVIO, F.S.; JÚLIO, C.F.S.; JOSÉ, N.M.C. & MILTON, M.S. Características das principais variedades de café cultivadas em Rondônia In Embrapa Centro de Pesquisa Agroflorestal de Rondônia Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2004, ISSN 0103-9865.

Fortunato, A.; Lidon, F. C.; Batista-Santos, P.; Leitão, A. E.; Pais, I. P.; Ribeiro, A. I.; Ramalho, J. C. Biochemical and molecular characterization of the antioxidative system of *Coffea* sp. under cold conditions in genotypes with contrasting tolerance. **Journal Plant Physiol**, 167:333–342, 2010.

GOMES, W.R.; RODRIGUES, W.P.; VIEIRA, H.D.; OLIVEIRA, M.G.; DIAS, J.R.M.; & PARTELLI, F.L. Genetic diversity of standard leaf nutrients in *Coffea canephora* genotypes during phenological phases. **Genetics and Molecular Research**, 15 (4):1–13, 2016. Doi: 10.4238/gmr.15048839.

GOMES, W.R.; RODRIGUES, W.P.; VIEIRA, H.D.; OLIVEIRA, M.G.; DIAS, J.R.M.; & PARTELLI, F.L. Genetic diversity of standard leaf nutrients in *Coffea canephora* genotypes during phenological phases. **Genetics and Molecular Research**, 15 (4):1–13, 2016. Doi: 10.4238/gmr.15048839.

GU, Z.; GU, L.; EILS, R.; SCHLESNER, M. & BRORS, B. Circlize implements and enhances circular visualization in R. **Bioinformatics**, 30 (19), 2811-2812, 2014. Doi: 10.1093/bioinformatics/btu393.

HU, F.; BI, X.; LIU, H.; FU, X.; LI, Y.; YANG, Y.; ZHANG, X.; WU, R.; LI, G.; LV, Y.; HUANG, J.; LUO, X. & SHI, R. Transcriptome and carotenoid profiling of different

varieties of *Coffea arabica* L. provides insights into fruit color formation. **Plant Diversity**, p. 1-5, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2021.11.005>.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION (ICO). Historical Data on the Global Coffee Trade. Disponível em: <https://www.ico.org/documents/cy2021-22/cmr-1221-e.pdf> (accessed at March 23, 2022).

JINGADE, P.; KUMAR, C. H. A.; KUMAR, M. M. First report on genome size and ploidy determination of five indigenous coffee species using flow cytometry and stomatal analysis genetics & evolutionary biology - original article, **Brazilian Journal of Botany**, 44:381–389, 2021. <https://doi.org/10.1007/s40415-021-00714-y>

LOUREIRO, J. Flora Cochinchinensis. Lisbon: Ulyssipone: Typis, et expensis Academicis, 1790.

MACHADO, C.M.S.; PIMENTEL, N.S.; GOLYNSK, A.; FERREIRA, A.; VIEIRA, H.D. & PARTELLI, F.L. Genetic diversity among 16 genotypes of *Coffea arabica* in the Brazilian cerrado. **Genetics and Molecular Research**, 16 (3): gmr16039794, 2017. Doi <http://dx.doi.org/10.4238/gmr16039794>.

MARRACCINI, P.; VINECKY, F.; ALVES, G.S.C.; RAMOS, H.J.O.; ELBELT, S.; VIEIRA, N.G.; CARNEIRO, F.A.; SUJII, P.S.; ALEKCEVETCH, J.C.; SILVA, V.A.; DAMATTA, F.M.; FERRÃO, M.A.G.; LEROY, T.; POT, D.; VIEIRA, L.G.E.; SILVA, F.R. & ANDRADE, A.C. Differentially expressed genes and proteins upon drought acclimation in tolerant and sensitive genotypes of *Coffea canephora*. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, 63:4191–4212, 2012.

MARTINS, L.D.; RODRIGUES, W.N.; MACHADO, L.S.; BRINATE, S.V.B.; COLODETTE, T.V.; AMARAL, J.F.T. & TOMAZ, M.A. Evidence of genetic tolerance to low availability of phosphorus in the soil among genotypes of *Coffea canephora*. **Genetics and Molecular Research**, 14:10576-10587, 2015. Doi: 10.4238/2015.September.8.19.

MARTINS, M.Q.; PARTELLI, F.L.; FERREIRA, A.; BERNARDES, C.O.; GOLYNSKI, A.; VIEIRA, H.D.; FREITAS, M.S.M. & RAMALHO, J.C. Genetic variability on nutrient contents in *Coffea canephora* genotypes cultivated at 850 meters of altitude in two crop seasons. **Functional Plant Breeding Journal**, 1, 1–12, 2019. <http://doi.org/10.35418/2526-4117/v1n1a6>.

MISHRA, M. K.; TORNINCASA, P.; DE-NARDI, B.; ASQUINI, E.; DREOS, R.; TERRA, L. D.; RATHINAVELU, R.; ROVELLI, P.; PALLAVICINI, A.; GRAZIOSI, G. Genome organization in coffee as revealed by EST PCR-RFLP, SNPs and SSR Analysis. **Journal Crop Science Biotechnol**, 14:25–37, 2011.

NANTAWAN, U.; KANCHANA-UDOMKAN, C. & DREW, R. Identification of genes related to sugar content in *carica papaya* L.: differential expression and candidate marker development. **Acta Horti**, 203, 129-136, 2018. <https://doi.org/10.17660/actahortic.2018.1203.20>.

OLIOSI, G.; PARTELLI, F.L.; SILVA, C.A.; DUBBERSTEIN, D.; GONTIJO, I. & TOMAZ, M.T. Seasonal variation in leaf nutrient concentration of conilon coffee genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, 44, 1–14, 2020. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1792492>.

PARTELLI, F. L.; ESPINDULA, M. C.; MARRE, W. B. & VIEIRA, H. D. Dry matter and macronutrient accumulation in fruits of conilon coffee with different ripening cycles. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38 (1):214–22, 2014. Doi: 10.1590/S0100-06832014000100021.

PARTELLI, F. L.; OLIVEIRA, M.G.; COVRE, H. D.; VIEIRA, H.D.; DIAS, J. R. M. & H. BRAUN. Nutritional standards and nutritional diagnosis of the Conilon coffee plants in phenological growth stages. **Journal of Plant Nutrition**, 41 (19):2536–46, 2018. Doi: 10.1080/01904167.2018.1510513.

PARTELLI, F.L.; BATISTA-SANTOS, P.; SCOOT-CAMPOS, P.; PAIS, I.P.; RAMALHO, J.C.; DAMATTA, F.M.; RODRIGUES, A. P.; RIBEIRO, A. et al. Cold impact and acclimation response of *Coffea* spp. Plants. **Theoretical and Experimental plant physiology**, 2014, 26:5-18.

PARTELLI, F.L.; GOMES, W.R.; OLIVEIRA, M.G.; DIAS, J.R.M. & ESPINDULA, M.C. Normas foliares e diagnóstico nutricional do cafeeiro na pré-florada e granação. Espírito Santo. **Coffee Science**, 11:544–54, 2016. Doi: 10. 25186/cs.v11i4.1177.

Partelli, F.L.; Oliosi, G.; Dalazen, J.R.; da Silva, C.A.; Vieira, H.D.; Espindula, M.C. Proportion of ripe fruit weight and volume to green coffee: Differences in 43 genotypes of *Coffea canephora*. **Journal agronomy**, 113, 1050–1057, 2021. <http://doi.org/10.1002/agj2.20617>.

SAKIYAMA, N.S. & PEREIRA, A.A. ZAMBOLIM, L. Melhoramento de café arábica. In: Borém, A. (Ed.). Melhoramento de espécies cultivadas. p. 189-204, 1999.

SANT'ANA, G.C.; PEREIRA, L.F.P.; POT, D.; IVAMOTO, S.T.; DOMINGUES, D.S.; FERREIRA, R.V.; PAGIATTO, N.F.; SILVA, B.S.R.; NOGUEIRA, L.M.; KITZBERGER, C.S.G.; SCHOLZ, M.B.S.; OLIVEIRA, F.F.; SERA, G.H.; PADILHA, L.; LABOUISSSE, J.P.; GUYOT, R.; CHARMETANT, P. & LEROY, T. Genome-wide association study reveals candidate genes influencing lipids and diterpenes contents in *Coffea arabica* L. **Scientific Reports**, 8, 2018. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18800-1>.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAUJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B. & CUNHA, T.J.F. (2018). Sistema brasileiro de classificação de solos (5th ed.). Embrapa.

SCALABRIN, S.; TONIUTTI, L.; DI GASPERO, G.; SCAGLIONE, D.; MAGRIS G.; VIDOTTO, M.; PINOSIO, S.; CATTONARO, F.; MAGNI, F.; JURMAN, I.; CERUTTI, M.; LIVERANI, F. S.; NAVARINI, L.; DEL TERRA, L.; PELLEGRINO, G.; RUOSI, M. R.; VITULO, N.; VALLE, G.; PALLAVICINI, A.; GRAZIOSI, G.; KLEIN, P. E.; BENTLEY, N.; MURRAY, S.; SOLANO, W.; AL HAKIMI, A.; SCHILLING, T.; MONTAGNON, C.; MORGANTE, M.; BERTRAND, B. A single polyploidization event at the origin of the tetraploid genome of *Coffea arabica* is responsible for the extremely low genetic variation in wild and cultivated germplasm. **Sci Rep**, 10:4642, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61216-7>

SCHMIDT, R.; SILVA, C.A.; DUBBERSTEIN, D.; DIAS, J.R.M.; VIEIRA, H.D. & PARTELLI, F.L. Genetic Diversity Based on Nutrient Concentrations in Different Organs of Robusta Coffee. **Agronomy**, 12, 640, 2022. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030640>.

SINGH, D. The relative importance of characters affecting genetic divergence. **Indian Journal of Genetics and Plant Breeding**, 41, 237- 245, 1981.

VOSSEN H.V.D.; BERTRAND, B. & CHARRIER, A. Next generation variety development for sustainable production of arabica coffee (*Coffea arabica* L.): a review. **Association for Science and Information on Coffee (ASIC)**, 204:243–256, 2015. Doi: 10.1007/s10681-015-1398-z.

YAN, L.; OGUTU, C.; HUANG, L.; WANG, X.; ZHOU, H.; LV, Y.; LONG, Y.; DONG, Y. & HAN, Y. Genetic diversity and population structure of coffee germplasm collections in China revealed by ISSR markers. **Plant Molecular Biology Reporter**, 37, 204–213, 2019. <http://doi.org/10.1007/s11105-019-01148-3>.

Zhang, K.; Yao, L.; Meng, J.; Tao, J. MaxEnt modeling for predicting the potential geographical distribution of two peony species under climate change. **Sci. Total Environ**, 634, 1326–1334, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.112>.

ZHANG, S.; LIU, X.; LI, R.; WANG X.; CHENG, J.; YANG, Q.; KONG, H. AHP-GIS and MaxEnt for delineation of potential distribution of Arabica coffee plantation under future climate in Yunnan. **Ecological Indicators**, 132, 108339, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108339>.