

**ANÁLISE BIOMÉTRICA DA EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE
POTÁSSIO EM CAFÉ ARÁBICA**

YASKA JANAÍNA BASTOS SOARES

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE
DARCY RIBEIRO**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
SETEMBRO – 2013**

**ANÁLISE BIOMÉTRICA DA EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE
POTÁSSIO EM CAFÉ ARÁBICA**

YASKA JANAÍNA BASTOS SOARES

Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutora em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Antônio Teixeira do Amaral Júnior
Coorientadora: Dra. Waldênia de Melo Moura

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ
SETEMBRO - 2013

ANÁLISE BIOMÉTRICA DA EFICIÊNCIA NUTRICIONAL DE
POTÁSSIO EM CAFÉ ARÁBICA

YASKA JANAÍNA BASTOS SOARES

Tese apresentada ao Centro de Ciências e
Tecnologias Agropecuárias da Universidade
Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro,
como parte das exigências para obtenção do
título de Doutora em Produção Vegetal.

Aprovada em 10 de Setembro de 2013

Comissão Examinadora

Prof. Geraldo de Amaral Gravina (D.Sc., Fitotecnia) – UENF

Prof. Henrique Duarte Vieira (D.Sc., Produção Vegetal) – UENF

Pesquisadora Dra. Waldênia de Melo Moura (D.Sc., Fitotecnia) – EPAMIG

Prof. Antônio Teixeira do Amaral Júnior (D.Sc., Genética e melhoramento) – UENF
(Orientador)

Aos meus pais, João e Ana;
Aos meus irmãos Taís e Thiago;
Aos meus sobrinhos João Miguel e Vitor.
Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo privilégio da vida e por todas as conquistas;

Aos meus pais, pelo exemplo de vida a ser seguido, pelo incentivo, pelos conselhos e pelo amor incondicional demonstrado a cada dia;

Aos meus irmãos, por terem acreditado no meu potencial e por terem me dado forças para seguir em frente. Estaremos sempre juntos;

Aos meus sobrinhos queridos, minhas maiores paixões e alegria de viver;

Aos meus cunhados Friedemann e Mariela, pelo convívio, e amizade;

Aos meus tios, Maria Terezinha e José Antônio, pelo carinho dedicado em todos os dias em que estive em Viçosa para a condução desse trabalho;

Ao Professor Antônio Teixeira do Amaral Júnior, pela orientação, amizade e pela confiança em mim depositada;

À Pesquisadora Dra. Waldênia de Melo Moura, por conceder os dados e por tornar possível a realização deste trabalho, por esses anos de convivência que me fizeram crescer, pelos seus valiosos ensinamentos, pela orientação, paciência e amizade;

A Universidade Estadual do Norte Fluminense - Darcy Ribeiro, ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, e ao Laboratório de Melhoramento Genético Vegetal (LMGV), pela possibilidade concedida para realização do Doutorado;

A EPAMIG (Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais), a UFV (Universidade Federal de Viçosa) e ao CBP&D/Café (Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café), pela colaboração e realização deste trabalho;

A FAPERJ (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro), por ter concedido a bolsa de Doutorado, possibilitando o desenvolvimento desta tese;

Aos Professores Henrique Duarte Vieira e Geraldo do Amaral Gravina, pelas importantes sugestões e pelos conselhos, os quais contribuíram para o aperfeiçoamento deste trabalho;

Aos Professores da UENF, com quem tive aula, pelos ensinamentos nas diversas áreas do melhoramento, aprimorando meu aprendizado;

Às amigas, Célia, Derliane, Drielle, Jalille, Rafaela, Renata e Tatiane, companheiras fiéis de todas as horas, agradeço-lhes pela convivência amiga e apoio no dia-a-dia;

Às amigas Carolina e Natália, como vocês me ajudaram nas horas que mais precisei. Nossa amizade é pra sempre!

Às amigas, Ana Raquel, Kaleandra e Luciléia, que fazem parte do quarteto fantástico, desde o mestrado, mesmo que distantes sempre presentes em minha vida;

Aos amigos Janeo, Lucas, Leandro e Pablo, pelo auxílio nas análises estatísticas, nos gráficos e pela dedicação especial na finalização deste trabalho;

Aos amigos do LMGV (todos os setores), pela agradável convivência durante a realização do trabalho;

A todos os amigos que conquistei no decorrer deste período, pela amizade e pelos momentos de descontração;

Agradeço a Todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Aspectos sócioeconômicos da cultura do cafeeiro	4
2.2. Aspectos botânicos.....	5
2.3. Melhoramento do cafeeiro	6
2.4. Potássio e sua função no metabolismo das plantas	7
2.5. Nutrição de plantas e Genética	10
2.6. Eficiência nutricional para o potássio.....	13
2.7. Descrição das cultivares de café utilizadas	15
3. TRABALHOS	22
3.1. DESEMPENHO DE CULTIVARES DE CAFÉ (<i>Coffea arabica</i> L.) CULTIVADAS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA EM DIFERENTES NÍVEIS DE POTÁSSIO	22
3.1.1. RESUMO	22
3.1.2. ABSTRACT	24
3.1.3. INTRODUÇÃO.....	25
3.1.4. MATERIAIS E MÉTODOS	26

3.1.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
3.1.6. CONCLUSÕES	54
3.1.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
3.2. ANÁLISE BIOMÉTRICA DE CARACTERÍSTICAS DE IMPORTÂNCIA ECONÔMICA EM <i>Coffea arabica</i> L, CULTIVADAS EM BAIXA DISPONIBILIDADE DE POTÁSSIO.	63
3.2.1. RESUMO	63
3.2.1. ABSTRACT	64
3.2.3. INTRODUÇÃO	65
3.2.4. MATERIAIS E MÉTODOS	66
3.2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	71
3.2.6. CONCLUSÕES	80
3.2.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
3.3. DIVERSIDADE GENÉTICA DE GENÓTIPOS DE <i>Coffea arabica</i> QUANTO À EFICIÊNCIA AO POTÁSSIO E CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS.....	83
3.3.1. RESUMO	83
3.3.2. ABSTRACT	84
3.3.3. INTRODUÇÃO	85
3.3.4. MATERIAIS E MÉTODOS	87
3.3.5. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	90
3.3.6. CONCLUSÕES	100
3.3.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
4. RESUMO E CONCLUSÕES	103
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
6. APÊNDICES	115

RESUMO

SOARES, YASKA JANAÍNA BASTOS, D.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Setembro de 2013. Análise biométrica da eficiência nutricional de potássio em café arábica. Orientador: Antônio Teixeira do Amaral Júnior. Coorientadora: Waldênia de Melo Moura.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a divergência genética entre as cultivares de café arábica quanto à eficiência nutricional para potássio, com base nas características morfoagronômicas, nas produções de matérias secas e nos índices de eficiência nutricional, por meio de análises univariada e multivariada, visando à identificação de cultivares promissoras, para ambientes com baixa disponibilidade de potássio. Foi instalado experimento em solução nutritiva, utilizando-se delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial (20x2), em que 20 cultivares de café foram avaliadas em dois ambientes de cultivo: nível adequado (4,0 mmol/L) e baixo (1,5 mmol/L) de potássio (K), com três repetições. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso com duas plantas, contendo 8 litros de solução nutritiva. Foram avaliadas as seguintes características: altura de planta, número de folhas, número de nós, comprimento de internódio, diâmetro de caule e área foliar. Após a avaliação, as plantas foram coletadas, o material vegetal foi submetido à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 70°C, por 72 horas e, assim, determinou-se a matéria seca de: raiz, folha, caule, parte aérea, total e relação raiz/parte aérea. Na quantificação dos teores potássicos utilizou-se a trituração das diferentes partes das plantas em

moinho Willey, com peneira número 20, com posterior digestão sulfúrica. Em seguida foram obtidos os conteúdos de potássio, por meio do produto entre os teores e a matéria seca de cada parte da planta. Por meio dos conteúdos, obtiveram-se as estimativas dos índices da eficiência nutricional. Com base no cultivo em ambiente de baixa disponibilidade de potássio, constatou-se que existe variabilidade genética entre as 20 cultivares de café para as características avaliadas. As cultivares Obatã IAC 1669/20, Caturra Amarelo, IPR 102, Catuaí Vermelho IAC 15, Rubi MG 1192, Araponga MG 1, Tupi IAC 1669-33, Catucaí 785/15 e Caturra Vermelho, são as mais eficientes nutricionalmente, podendo ser recomendadas para futuros programas de melhoramento, visando à obtenção de cultivares de café eficientes para baixa disponibilidade desse nutriente. Além disso, as cultivares Araponga MG 1, Tupi IAC 1669-33 e Catucaí 785/15 são responsivas a adição de potássio no ambiente de cultivo. Os elevados coeficientes de determinação genotípicos associados à grande variabilidade genética indicam a possibilidade de obtenção de êxitos em programa de melhoramento genético para as características altura de planta, comprimento de internódio, diâmetro de caule, área foliar, eficiência de produção de biomassa e a eficiência de utilização de potássio. A área foliar e o diâmetro de caule apresentam correlações genéticas significativas e positivas com as eficiências de enraizamento, de produção de biomassa e de utilização de potássio. A característica diâmetro de caule de fácil mensuração apresenta grande potencial para uso nos programas de melhoramento genético visando à seleção indireta de cultivares mais eficientes para potássio em ambientes com baixo nível desse nutriente. As análises multivariadas pelos métodos UPGMA e Variáveis Canônicas possibilitaram a formação de cinco grupos, esses métodos foram eficientes na discriminação das cultivares de café arábica no estudo da diversidade genética. As cultivares Icatu Precoce 3282 e Oeiras MG 6851 foram as que apresentaram maiores distâncias, constituindo grupos isolados nos métodos utilizados. O grupo V apresentou o maior número de cultivares com maiores eficiências de enraizamento, de produção de biomassa e de utilização de potássio. É possível agrupar cultivares de café de diferentes origens, características morfoagronômicas e índices de eficiência nutricional para potássio. As características que mais contribuíram para a divergência genética são comprimento de internódio e a eficiência de produção de biomassa.

ABSTRACT

SOARES, YASKA JANAÍNA BASTOS, D.Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. September, 2013. Biometric analysis of the nutritional efficiency of potassium in *arabica coffee*. Advisor: Antônio Teixeira do Amaral Junior. Co-advisor: Waldênia de Melo Moura.

The aim of this study was to evaluate the genetic divergence between *arabica coffee* cultivars regarding nutritional efficiency for potassium based on agronomic characteristics of dry matter production and efficiency indices nutrition through univariate and multivariate analyzes, in order to identify promising cultivars to environments with low potassium. Experiment was conducted in nutrient solution, using a randomized block design in a factorial (20x2), where 20 coffee cultivars were evaluated in two culture environments: the appropriate level (4.0 mmol/L) and low (1,5 mmol/L) potassium (K) with three replications. Each experimental unit consisted of one pot with two plants, containing 8 liters of nutrient solution. We evaluated the following characteristics: plant height, number of leaves, number of nodes, internodal length, stem diameter and leaf area. After assessment, the plants were harvested, the vegetable material was subjected to drying in an oven with forced air circulation at 70 ° C for 72 hours and goes like then, we determined the dry matter: root, leaf, stem, shoot, Total and relative root/ shoot. In the measurement of potassium concentration was used crushing of the different plant parts in Willey mill with number 20 sieve, further digestion with sulfuric acid. Then there were obtained the potassium content through the product between the

contents and the dry weight of each plant. Through the content, we obtained estimates of the indices of nutritional efficiency. Based on the cultivation environment of low potassium availability, it was found that there is genetic variability among 20 cultivars of coffee to the characteristics evaluated. Cultivars Obatã IAC 1669/20, Caturra Amarelo, IPR 102, Catuaí Vermelho IAC 15, Rubi MG 1192, Araponga MG 1, Tupi IAC 1669-33, Catucaí 785/15 and Caturra Vermelho, are the most nutritionally efficient, and can be recommended for future breeding programs, in order to obtain efficient coffee cultivars to low availability of this nutrient. Additionally, the cultivars Araponga MG 1, Tupi IAC 1669-33, Catucaí 785/15 are responsive to potassium addition in the culture environment. The high genotypic correlation coefficients associated with high genetic variability indicate the possibility of achieving success in the breeding program for the Plant height, internodal length, stem diameter, leaf area, biomass production efficiency and utilization efficiency potassium. The leaf area and stem diameter have significant and positive genetic correlations with the efficiencies of rooting, biomass production and utilization of potassium. The characteristic stem diameter of easy measurement shows great potential for use in breeding programs aimed at indirect selection of cultivars more efficient potassium in environments with low levels of this nutrient. Multivariate analyzes by UPGMA and Canonical Variables allowed the formation of five groups, these methods were effective in the discrimination of *arabica coffee* cultivars in the study of genetic diversity. Cultivars Icatu Precoce 3282 and Oeiras MG 6851 showed the greatest distances, forming isolated groups in the methods used. Group V had the largest number of cultivars with higher efficiencies rooting, biomass production and use of potassium. You can group coffee cultivars of different origins, characteristics and agronomic efficiency ratios for potassium nutrition. The features that most contributed to divergence are internodal length and efficiency of biomass production.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o principal produtor mundial de café, seguido do Vietnã, Indonésia, Colômbia, Etiópia, Honduras, Índia, México, Peru e Guatemala (FAO, 2013). A produção brasileira é proveniente de uma área plantada de 2.049,74 mil hectares e com a produção de 38,34 milhões de sacas beneficiadas. Aproximadamente 75,44% do café brasileiro provêm de variedades de *Coffea arabica* L. e 24,56% de *Coffea canephora* Pierre (CONAB, 2013).

O café é cultivado em uma diversidade de solos, muitos dos quais bastante intemperizados, apresentando deficiência aguda de bases, como potássio, cálcio e magnésio. Assim, estudos que envolvam a nutrição mineral com o melhoramento genético são de extrema importância para a sustentabilidade do cultivo do cafeeiro nos solos brasileiros (Tomaz et al., 2008). Pesquisas sobre a nutrição do cafeeiro concentram-se preferencialmente com os macronutrientes N, P e K, sendo que o nitrogênio e o potássio são os mais exigidos pela espécie.

O Brasil é um dos maiores importadores mundiais de fertilizantes e o quarto maior consumidor superado apenas pela China, EUA e Índia e à frente de países como a França, a Alemanha e o Canadá. Só de cloreto de potássio (KCl), em 2011, o Brasil consumiu cerca de 3,7 milhões de toneladas, o que correspondeu a um dispêndio de 3,4 bilhões de dólares (IBRAM, 2012).

Em 2003 foram produzidas 390,3 mil toneladas de K_2O , correspondendo a apenas 10% da demanda nacional (Resende et al., 2006). Com isso, o Brasil tem importado a maior parte do fertilizante potássico utilizado na agricultura,

especialmente na forma de cloreto de potássio (KCl). Estima-se que o Brasil importe quase 90% de toda a demanda nacional de K, uma vez que a indústria nacional não consegue atender as necessidades do mercado interno (Melamed et al., 2009).

Como o K é um recurso natural não renovável, é preciso estudar formas de usos mais eficientes como fontes alternativas, a exemplo de kalsilita, flogopita, biotita, bem como a implementação de técnicas que permitam reciclá-lo no sistema (Nogueira et al., 2001). Atualmente, tem havido mais preocupação com esse assunto devido à necessidade da conservação ambiental, com a sustentabilidade da exploração agrícola e com a qualidade dos alimentos produzidos (Resende et al., 2006).

Posto isto, a otimização da eficiência nutricional é fundamental para ampliar a produtividade, reduzir o custo de produção e proporcionar maior longevidade a uma agricultura menos depredadora do Planeta. Neste contexto, é de fundamental importância para a ciência moderna selecionar plantas eficientes na absorção e utilização dos nutrientes aplicados ao solo (Fageria, 1998; Moura et al., 2007; Tomaz et al., 2008; Amaral et al., 2011).

A cafeicultura brasileira tem experimentado grandes avanços por meio de pesquisas realizadas por diversas instituições do país que se dedicam principalmente às áreas de fitotecnia e de melhoramento para o desenvolvimento de novas cultivares com adaptação às diferentes condições de cultivo e com elevado potencial de produção (Freitas et al., 2007).

Para o sucesso de um programa de melhoramento genético com o cafeeiro, há necessidade de informações sobre a espécie a ser melhorada, a disponibilidade de germoplasma com elevada variabilidade genética, além do conhecimento de métodos de melhoramento que são utilizados para cultura e o domínio de metodologias de análises genético-biométricas.

O café movimenta 91 bilhões de dólares anualmente em todo o mundo e no Brasil o faturamento foi em torno de 6,5 bilhões de dólares com exportação no ano de 2012, constituindo-se a principal *comoditie* na balança comercial do país (MAPA, 2013).

Por conseguinte, desenvolveu esta pesquisa, com o objetivo de identificar cultivares de café arábica, eficientes na absorção, transporte e uso de potássio. E, como objetivos específicos: i) quantificar a variabilidade genética de 20 cultivares

de café arábica do Programa de Melhoramento Genético da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Unidade Regional Zona da Mata (EPAMIG/UREZM), visando à identificação de cultivares menos exigentes no uso de potássio; ii) identificar características mais expressivas na discriminação das cultivares de café e a relação com a eficiência nutricional para o potássio; e iii) estimar a divergência genética entre 20 cultivares de café utilizando duas metodologias, visando identificar variabilidade em condições de baixa disponibilidade de potássio, bem como, determinar a importância relativa entre os caracteres indicando os de maior importância para a pré-seleção de genótipos superiores para eficiência no uso desse nutriente.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos sócioeconômicos da cultura do cafeeiro

A cafeicultura é de grande importância econômica e social no cenário nacional e internacional. O Brasil é o maior produtor e exportador de café, sendo responsável por 35% da produção mundial e é o segundo maior consumidor, sendo superado somente pelos Estados Unidos da América (FAO, 2013).

O cultivo do cafeeiro ocorre em diversos países, sendo os dez maiores produtores mundiais no ano de 2012, em ordem decrescente: Brasil, Vietnã, Indonésia, Colômbia, Etiópia, Honduras, Índia, México, Peru e Guatemala (FAO, 2013).

Os principais estados produtores são: Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Paraná, Bahia e Rondônia que correspondem a 98,2% da produção nacional. Da produção brasileira, 75,4% provêm do café arábica. Os 24,6% restantes são do tipo conillon. Minas Gerais responde, isoladamente, por 69,5% da produção de café arábica do país (CONAB, 2013).

As exportações brasileiras do agronegócio de café em 2012 foram de aproximadamente 28,7 milhões de sacas de 60 kg, com faturamento de US\$ 6,5 bilhões de dólares. Os principais destinos das exportações de café verde foram Alemanha, Estados Unidos, Itália e Japão; café solúvel - Rússia, Estados Unidos, Ucrânia e Japão; e café torrado e moído - Estados Unidos, Itália, Argentina e Japão (MAPA, 2013).

Em relação ao consumo interno, o levantamento realizado pela Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC), no ano de 2012, o consumo foi de 20,33 milhões de sacas, o que representou um acréscimo de 3,09% em relação ao ano de 2011, que havia sido de 19,72 milhões de sacas. O consumo *per capita* foi de 4,98 kg de café torrado, quase 83 litros para cada brasileiro por ano (ABIC, 2013).

Além da importância econômica, a cafeicultura tem se destacado pela sua relevância social, uma vez que gera grande número de empregos nos vários segmentos da cadeia produtiva, sendo responsável pela geração de mais de oito milhões de empregos no país, proporcionando renda, acesso à saúde e à educação para os trabalhadores e suas famílias (MAPA, 2013). A produção de café gera renda para mais de 650 mil agricultores familiares. Dados do Censo Agropecuário mais recente revelam que o cultivo dos cafezais ocorre em quase 200 mil estabelecimentos da agricultura familiar, distribuídos em 1.468 municípios diferentes de todo o País (BRASIL, 2013).

2.2. Aspectos botânicos

O gênero *Coffea* pertence à família Rubiaceae, subfamília Cinchonoideae, tribo Coffeae, e é composto por aproximadamente 100 espécies, sendo as duas de maior interesse econômico no mundo a *Coffea arabica* e *Coffea Canephora* (Pinto-Maglio, 2006). As demais espécies, como *Coffea liberica*, *C. racemosa*, *C. dewevrei*, *C. eugenioides*, *C. congensis*, *C. stenophylla*, dentre outras, são importantes nos programas de hibridações e de melhoramento genético. A origem mais provável de *C. arabica* é a hibridação natural entre as espécies diploides *C. eugenioides* e *C. congensis* (Raina et al., 1998) ou entre *C. eugenioides* e *C. canephora* (Lashermes et al., 1999).

Krug (1939) em estudos realizados com a espécie *Coffea arabica* por meio de preparações incluídas em parafina e cortes histológicos, concluiu que o número básico de cromossomos é $x=11$, sendo que apenas a espécie *Coffea arabica* contém $2n=4x=44$.

Estudos realizados recentemente por Clarindo e Carvalho (2008) demonstraram que o *Coffea arabica* L. é um alotetraploide verdadeiro, e não um alotetraploide segmental, como era conhecido. É autocompatível e se multiplica

predominantemente por autofecundação, que ocorre em aproximadamente 90% das flores (Fazuoli, 2004).

Ressalta-se, ainda, que o cafeeiro é uma planta perene, de porte arbustivo ou arbóreo, de caule lenhoso, lignificado, reto e quase cilíndrico, os ramos são dimórficos, sendo o dimorfismo relacionado às direções dos ramos em seu crescimento. Os que crescem em sentido vertical são os ramos ortotrópicos ou primários e os que crescem lateralmente são plagiotrópicos ou secundários. As folhas são opostas inteiras, coriáceas, nos ramos laterais e nas axilas das folhas, são formadas as gemas florais, que dão origem à floração e frutificação. As flores são hermafroditas, crescem em glomérulos, o fruto é uma drupa, normalmente com duas sementes, que são plano-convexas. Se ocorrer abortamento de um lóculo, formam-se sementes arredondadas, chamada moca. O sistema radicular do cafeeiro é pivotante, as raízes finas são superficiais, localizando-se em sua maioria, até 30 a 40 cm de profundidade do solo (Matiello et al., 2010).

2.3. Melhoramento do cafeeiro

O melhoramento de plantas tem sido conduzido com alguns objetivos específicos, porém sua meta geral é a elevação do valor econômico da espécie (Borém, 2001). De acordo com Martins e Costa (2003), para que um programa de melhoramento atinja seus objetivos finais, é necessário definir precisamente os critérios de seleção e as características que serão avaliadas.

O programa de melhoramento genético do cafeeiro teve início no Brasil em 1933, no Instituto Agronômico de Campinas, onde se propôs a execução de hibridações com o cafeeiro, visando esclarecer o mecanismo da transmissão de uma série de caracteres que diferenciavam as variedades e formas da espécie *Coffea arabica* L. (Krug, 1939). Reuniram-se todas as variedades de *Coffea arabica* conhecidas no Brasil, como Bourbon Vermelho, Bourbon Amarelo, Arábica, Sumatra, Amarelo de Botucatu, Maragogipe e Caturra, com o objetivo de estudar suas progênies em lotes e ensaios comparativos de produção (Fazuoli, 1977). Desde então, diversos estudos têm sido conduzidos com o cafeeiro, exemplificando-se investigações quanto a biologia da reprodução, perspectivas de seleções em gerações de intercruzamentos, manejo e técnicas agronômicas, dentre outros (Gouveia, 1984; Pezzopane et al., 2007; Clarindo e Carvalho, 2008; Tomaz et al., 2008).

A cafeicultura nacional teve grande impulso quando, em 1943, pesquisadores do Instituto Agrônomo de Campinas obtiveram a variedade Mundo Novo – oriunda da hibridação entre as cultivares Bourbon Vermelho e Sumatra - que rapidamente se expandiu por todas as regiões do Brasil e se tornou uma das mais produtivas (EMBRAPA, 2013)

Em 1970/71, teve início o programa de pesquisas com o melhoramento genético do cafeeiro, coordenado pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), o qual conta com a cooperação técnica do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) e com a parceria de diversas instituições de ensino e pesquisa como: Universidade Federal de Viçosa (UFV), Universidade Federal de Lavras (UFLA), Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), e o PROCAFE (Programa de Apoio Tecnológico à Cafeicultura do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). No Ano de 1997, na coordenação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), foi criado o Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, contando com a parceria de tradicionais instituições de pesquisa cafeeira (EMBRAPA, 2013).

Atualmente, o melhoramento genético do cafeeiro visa à obtenção de novas cultivares mais adaptadas às diferentes regiões cafeeiras e ao sistema de cultivo, com elevadas produtividades, boa qualidade de bebida, resistência de doenças e pragas, maturação uniforme em épocas diferentes de colheitas, além de condições adversas de meio ambiente (Fazuoli, 1977; Gouveia, 1984; Pezzopane et al., 2007; Moura et al., 2007; Clarindo e Carvalho, 2008; Tomaz et al., 2008; Sakiyama et al., 2008).

2.4. Potássio e sua função no metabolismo das plantas

O território brasileiro é constituído, em grande parte, por solos ácidos e pobres em nutrientes, em especial o potássio (K). Para torná-los produtivos, são utilizadas grandes quantidades de fertilizantes, que englobam cerca de 40 % dos custos variáveis de produção. Por conseguinte, é necessário buscar alternativas econômicas aos fertilizantes tradicionais.

O Brasil encontra-se como um dos maiores importadores mundiais de fertilizantes e o 4º maior consumidor, atrás da China, EUA e Índia (MAPA, 2013).

Com relação ao potássio – segundo nutriente mais requerido pelo cafeeiro, em 2003 foram produzidas 390,3 mil toneladas de K_2O , correspondendo

a apenas 10% da demanda nacional (DNPM, 2012). Segundo o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), o balanço projetado entre a oferta e a demanda de cloreto de potássio no período 2001-2010, projeta um déficit a ser suprido via importação, da ordem de 39,23 milhões de toneladas.

A produção de potássio concentra-se praticamente em seis países: Canadá (34%), Rússia (16%), Bielo-Rússia (15%), Alemanha (12%), Israel (7%), Estados Unidos (4%) e Jordânia (2%), que juntos representam 88% do total mundial (DNPM, 2012). Essas projeções mostram um grande ônus para a balança comercial do país. Como o K é um recurso não renovável, é preciso estudar formas de usos mais eficientes, como fontes alternativas (kalsilita, flogopita, biotita), bem como investigar técnicas que permitam reciclá-lo no sistema (Resende et al., 2006). E, não menos importante, selecionar genótipos mais eficientes na absorção, translocação e uso deste nutriente.

O Brasil tem importado a maior parte do fertilizante potássico utilizado na agricultura, especialmente na forma de cloreto de potássio (KCl) (Resende et al., 2006). O KCl possui o ânion cloreto (Cl^-) que, entre outros fatores, pode ocasionar toxidez no cafeeiro. Mesmo assim, essa cultura parece ser bem tolerante aos excessos de cloretos, pois suas folhas podem ter até 10.000 mg/Kg, sem que ocorra manifestação de alguma injúria ou toxidez, o excesso de Cl pode reduzir a atividade da enzima polifenoloxidase, que está correlacionada positivamente com a qualidade de bebida (Guimarães e Reis, 2010).

O potássio está presente na planta predominantemente na forma iônica (K^+), e não apresenta função estrutural. Suas principais funções estão vinculadas a processos vitais, como fotossíntese, translocação de carboidratos, balanço iônico e respiração (Marschner, 1995; Malavolta et al., 1997).

O K é um elemento que constitui cerca de 1% da massa seca vegetal, o que o torna o cátion inorgânico mais abundante na matéria vegetal, embora sua concentração na solução do solo seja frequentemente menor que 0,005%, abaixo das concentrações de cálcio (Ca) e magnésio (Mg). O íon potássio (K^+) ocupa o terceiro lugar em ordem crescente da força de ligação do cátion às partículas do solo, e é o primeiro em importância dos cátions na solução do solo (Epstein e Bloom, 2006).

Os nutrientes mais exigidos pelo cafeeiro são o N e o K, sendo o primeiro mais exigido em anos de safra baixa (formação de vegetação) e o segundo em anos de safra alta (formação de frutos) (Matiello et al., 2010).

Quanto à mobilidade, o K^+ pode ser considerado um dos nutrientes mais móveis no sistema solo-planta-atmosfera e, particularmente, na planta. Com isso pode-se admitir uma maior solubilidade do K^+ permitindo a sua redistribuição. Este fato acontece, pois com o K^+ solúvel, atravessaria mais facilmente as membranas (plasmalema e tonoplasto) com movimento nos dois sentidos, entrada, isto é, absorção propriamente dita, e saída (Malavolta, 2004). Além do seu importante papel na síntese de proteína e regulação do potencial osmótico das células, o K é também ativador de várias enzimas envolvidas na respiração e fotossíntese (Taiz e Zeiger, 2008).

Esse nutriente atua também na síntese de proteínas, carboidratos e da adenosina trifosfato (ATP), na regulação osmótica, na manutenção de água na planta por meio de controle da abertura e no fechamento dos estômatos, na resistência da planta a incidência de pragas e doenças através do efeito na resistência e na permeabilidade das membranas plasmáticas (Marschner, 1995; Malavolta et al., 1997; Ernani et al., 2007).

O conhecimento do sistema radicular e a nutrição de plantas são de grande importância na aplicação de práticas de manejo do solo. Na cultura do café, o sistema radicular, quando associado aos fatores edafoclimáticos é fundamental para otimização de várias práticas, como adubações e aplicações de agrotóxicos de solo, tratos culturais, densidade de plantio, irrigação e cultivos intercalares. As raízes do cafeeiro são órgãos fundamentais, principalmente como elementos de suporte, de absorção de nutrientes e água e como órgãos de produção de várias substâncias orgânicas complexas, vitais à sua própria fisiologia e à da planta inteira (Tomaz et al., 2001).

O K chega às raízes pelos mecanismos de fluxo em massa e difusão. A interceptação radicular contribui com menos de 5% da demanda de K pelas plantas (Ernani et al., 2007).

A absorção de K pelas raízes é dada através da energia do ATP que é usada para bombear H^+ para fora da célula. Assim, é produzido um gradiente de pH elétrico entre o citoplasma e o espaço da parede celular. O H^+ está com energia livre maior na parede do que no citoplasma. O ATP é usado pelo

carregador do K para fornecer a energia necessária para a absorção. Como há uma correlação estreita entre a extrusão de H^+ e a absorção de K^+ , o próprio carregador pode ser a bomba de H^+ eletrogênica. Com isso, o K^+ seria absorvido em troca de H^+ (Malavolta, 2004). Não se sabe ao certo se a ATPase é mesmo carregador de potássio ou se funciona como bomba que faz a extrusão de H^+ trocado pelo K. O processo de absorção de K, não deixa dúvida que há uma troca entre H^+ e K^+ , no entanto, não existe estequiometria nessa absorção. O influxo de K, normalmente, excede ao efluxo de H^+ (Malavolta, 2006).

O potássio absorvido pela raiz chega aos vasos do xilema somente pela via apoplástica, que se resume à parede celular e aos espaços intercelulares e é interrompida na endoderme, bloqueada pelas estrias de Cáspari, as quais deixam passar muito pouca água e íons. Por esse motivo, o cilindro central somente é alcançado pelo caminho simplástico, este formado pelos plasmodesmos, chegando até ao floema (Läuchli e Pflüger, 1978).

A passagem do K do xilema para o floema é facilitada por um processo de carregamento que tem lugar no plasmalema dos vasos de seiva. A entrada de K no floema está relacionada com o efluxo de próton e com a energia gerada pela ATPase. Açúcares são transportados para os vasos de seiva em co-transporte com H^+ . O K move-se no floema da folha para outros órgãos com alta demanda de assimilados, como nas regiões de crescimento ou de armazenamento (Martin, 1989).

De acordo com Rodríguez-Navarro e Rubio (2006), as espécies vegetais têm a tendência de absorver o K^+ em quantidades acima da atual necessidade, ficando o excedente armazenado no vacúolo celular.

O K vacuolar possui um papel osmótico, o qual pode ser visto no funcionamento das células-guardas dos estômatos. Nelas, as variações no turgor resultam de mudanças na concentração de K^+ , em alguns casos, acompanhado por Cl^- ou um ânion orgânico (Taiz e Zeiger, 2008).

2.5. Nutrição de plantas e Genética

Se por um lado a longevidade da expansão agrícola no Planeta depende da utilização racional das fontes de recursos não renováveis, por outro, o fornecimento de elevadas doses de nutrientes contribui, significativamente para o aumento da produtividade na agricultura. Para a conjugação destes propósitos, a

otimização da eficiência nutricional é opção fundamental, não apenas para ampliar a produtividade e reduzir o custo de produção agrícola, mas também, para a prática de uma agricultura mais sustentável e menos impactante a natureza. Estes objetivos tornam-se ainda mais preponderantes quando os cultivos são prospectados para solos muito intemperizados, pobres em nutrientes (Fageria, 1989).

De acordo com Gabelman e Gerloff (1983) a absorção, o transporte e a redistribuição de nutrientes possuem controle genético, com isso, existe a possibilidade de melhorar e, ou, selecionar cultivares mais eficientes quanto ao uso de nutrientes. A eficiência de absorção de nutrientes pela raiz e a “preferência” por determinado elemento são características determinadas geneticamente, sendo que as plantas são capazes de absorver estes nutrientes contra um gradiente de concentração e acumulá-los, especialmente, no vacúolo (Larcher, 2000).

De acordo com Marschner (1995), vários fatores genéticos podem proporcionar diferenças nas concentrações dos teores foliares dos nutrientes minerais, indicando que entre cultivares e entre linhagens existe maior ou menor eficiência de absorção, translocação ou utilização de nutrientes pela planta. Uma das formas da planta controlar a taxa de absorção dos nutrientes seria através do controle de expressão dos genes que codificam seus carreadores, canais e bombas. O isolamento desses genes que codificam proteínas transportadoras tem sido obtido em diversos vegetais, com isso abre perspectivas para entendimento e manipulação da absorção de nutrientes em cultura de interesse comercial (Tomaz e Amaral, 2008).

Segundo Fageria e Baligar (1993), são diversos os mecanismos relacionados às características morfológicas e fisiológicas da planta que colaboram para uma melhor utilização dos nutrientes, como: sistema radicular extenso (que possibilita a exploração de maior volume do solo), alta relação entre raízes e parte aérea, habilidade do sistema radicular em modificar a rizosfera (possibilitando superar baixos níveis de nutriente), maior eficiência de absorção ou utilização de nutrientes, capacidade de manter o metabolismo normal com baixo teor de nutriente nos tecidos e alta taxa fotossintética.

As características morfológicas e fisiológicas das raízes influem decisivamente na eficiência de absorção e utilização de nutrientes como o fósforo

e o potássio, que dependem principalmente do mecanismo de difusão para serem transportados até as raízes (Furlani et al., 1986).

De acordo com Laviola et al. (2007), conhecer a alocação de nutrientes minerais em cafeeiro é importante para identificar uma maior exigência nutricional pelas plantas e, desta forma, melhorar a eficiência das adubações.

Laviola et al. (2008) estudaram o acúmulo de matéria seca, N, P e K em frutos de café arábica da antese à maturação em quatro altitudes, bem como, a variação na concentração dos nutrientes em folhas dos ramos produtivos. Nesse estudo os autores observaram que o K foi o único nutriente, comparado aos avaliados, que não apresentou paralisação em sua translocação para os frutos até a maturação. A ordem de acúmulo de macronutrientes pelos frutos, em mg/fruto, na época em que se obteve o máximo acúmulo foi a seguinte: K (12,60) > N (9,79) > Ca (1,18) > Mg (0,78) > S (0,69) > P (0,65).

A relação entre a genética e a nutrição mineral de plantas tem recebido maior atenção nos últimos anos, com o desenvolvimento de pesquisas em relação às variações no requerimento nutricional e na tolerância de plantas a condições de deficiência nutricional, e os resultados destes estudos sugerem o desenvolvimento de cultivares capazes de se adaptarem a diferentes condições de solo, incluindo estresses nutricionais (Ahmad et al., 2001).

Estudos sobre a expressão de genes em cafeeiros que codificam transportadores ou reguladores de íons em plantas sob condições extremas de estresse são pouco ou quase nada avaliados (Martinati et al., 2009), embora vários genes já tenham sido identificados e caracterizados em plantas-modelo como *Arabidopsis*, como os genes transportadores de potássio, denominados *hak* e *kea* (Rodríguez-Navarro e Rubio, 2006).

Martinati et al. (2009) avaliaram a expressão de genes relacionados ao metabolismo de nitrogênio, fósforo e potássio em cafeeiros submetidos ao estresse biótico externo pelo ataque do inseto herbívoro *Leucoptera coffeella*, ou bicho-mineiro, a mais importante praga do cafeeiro. Neste estudo foram analisados os perfis de expressão de 5 genes (*hak-5*, *kea*, *pap-1*, *pii*, *ntf*) relacionados com o transporte e a regulação de potássio e nitrogênio com diferentes estímulos bióticos e em diferentes etapas de cada um desses processos. Os genes que codificam transportadores de potássio são *hak-5* e *kea-5*. Esses autores verificaram um aumento da expressão do gene *hak-5* no último

tempo de coleta analisado, que corresponde a um período de 300h após o contato com o inseto *Leucoptera coffeella*.

Informações referentes ao transporte de potássio em raízes de *Arabidopsis* revelaram que o gene *trh1* é responsável pela translocação de K^+ , que é essencial no crescimento de pelos radiculares (Rigas et al., 2001). Descobertas recentes no que se refere ao isolamento e à caracterização de canais e transportadores de nutrientes também podem criar perspectivas para o melhoramento de plantas específicas para cultivo hidropônico (Tomaz e Amaral, 2008).

2.6. Eficiência nutricional para o potássio

O conceito de eficiência nutricional é utilizado para caracterizar a capacidade de um genótipo de absorver os nutrientes e utilizá-lo para a produção de biomassa (Furtini Neto, 1994).

Por conseguinte, um genótipo com alta eficiência nutricional, ou seja, uma planta altamente eficiente na utilização de nutrientes, e que se destaca das demais, mesmo em condições adversas de baixa fertilidade, de recursos hídricos ou de excesso de sais, pode ser o caminho para a obtenção de maior produtividade.

Os possíveis mecanismos de controle das necessidades nutricionais das plantas abrangem a aquisição dos nutrientes do ambiente, sua movimentação através das raízes e liberação no xilema, sua distribuição nas plantas e utilização no metabolismo e crescimento (Marschner, 1986).

A absorção é o processo pelo qual o elemento, no caso o potássio (K), passa do substrato (solo, solução nutritiva) para uma parte qualquer da célula (parede, citoplasma, vacúolo); já o transporte ou translocação é o movimento do K do local de absorção para outro qualquer (dentro ou fora dele), e a redistribuição refere-se ao movimento do K de um órgão para qualquer outro na planta (Malavolta et al., 1997).

Segundo Graham (1984), a eficiência nutricional de plantas se refere à capacidade que um genótipo tem de obter elevadas produções em solos pobres em determinado nutriente, tendo como base um genótipo padrão. Entretanto, geralmente ocorrem variedades eficientes ou ineficientes em determinadas condições de níveis nutricionais extremos.

De acordo com Siddiqi e Glass (1981), a eficiência de utilização do nutriente é tão importante quanto à eficiência de aquisição. O conceito altamente difundido de quantidade de biomassa por unidade de nutriente, presente na biomassa, representaria um 'quociente', cuja aplicação seria limitada por não levar em conta o crescimento e a dinâmica do sistema solo-planta. De tal modo, qualquer acréscimo no 'quociente' pode ser devido mais a perda de nutriente do que ao acréscimo, por conseguinte, a concentração do nutriente no tecido tem mais importância do que a quantidade total. Com isso, para que não ocorra a seleção de plantas eficientes na utilização do nutriente, porém com baixa produção, os autores propuseram um índice de eficiência sendo a razão entre o quadrado da biomassa e o conteúdo do nutriente absorvido, reunindo, em um mesmo índice, a eficiência de utilização do nutriente em acréscimo.

Li et al. (1991) definiram eficiência de uso como a produção de biomassa por unidade do nutriente aplicado, sendo expressa por dois componentes: eficiência de aquisição, que corresponde ao nutriente total da planta por unidade de nutriente fornecido, e eficiência de utilização, referente à matéria seca total produzida por unidade de nutriente na planta.

A eficiência nutricional está relacionada com a habilidade do genótipo em adquirir nutrientes do meio de crescimento e/ou incorporar ou utilizá-lo na produção da biomassa da parte aérea e raiz (Blair, 1993).

O conceito de eficiência é definido como plantas eficientes, ou seja, são as que atingem maiores produções por unidade de tempo e área cultivada em meio deficiente do nutriente estudado (Fox, 1978).

Vose (1987) relata que existem plantas, variedades e genótipos "responsivos" e "não responsivos" ao acréscimo de um determinado nutriente; "eficientes" e "não eficientes" na converção do nutriente em matéria seca; "eficientes" e "ineficientes" para absorção ou translocação; e "acumuladores" ou "não acumuladores" de certos elementos.

Estudos têm mostrado a existência de diferenças genotípicas quanto às eficiências de absorção, translocação e utilização de nutrientes para algumas espécies como o arroz (Fageria et al., 1988); a abóbora (Swiader et al., 1994), o trigo (Sembiring et al., 1998), a carambola (Rozane et al., 2007), o algodão (Zhang et al., 2007), mas para a cultura do cafeeiro há escassez de estudos quanto à eficiência nutricional para o potássio isoladamente.

Alguns trabalhos têm sido realizados com o objetivo de averiguar se existe diferença na eficiência de absorção, na translocação e no uso de potássio em conjunto com outros nutrientes em diferentes cultivares de café (Ferrari et al., 2001; Tomaz et al., 2005; Moura et al., 2007; Amaral et al., 2011).

A eficiência na produção de raiz e parte aérea por unidade absorvida de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu e Zn em quatro cultivares de café arábica foi estudada por Amaral et al. (2011), que verificaram maior eficiência na produção de raízes por unidade de N, P, K, Ca, Mg e S na cultivar 'Acaia IAC-474-19' e menor na 'Rubi MG-1192'.

Ferrari et al. (2001), comparando os teores de N, P, K e S e estado nutricional de cafeeiro enxertados e não-enxertados em condição de campo, observaram que para o potássio, os tratamentos com H 514/Apoatã, Catuaí 15/EMCAPA 8141, Oeiras/EMCAPA 8141, H 514/EMCAPA 8141, H514/Mundo Novo, H 514/ Conilon Muriaé, Catuaí 15/Apoatã, Catuaí 15/Conilon Muriaé, Oeiras/Apoatã, Oeiras/Conilon Muriaé-1 e Catuaí 15/Mundo novo, apresentaram os maiores teores desse nutriente nas folhas.

Em cultivo em solução nutritiva, Moura et al. (2007), verificaram variabilidade genética entre seis cultivares de café em resposta a quatro ambientes de cultivo em solução nutritiva, com diferentes combinações de N e K. As cultivares Catucaí 785/15, Araponga MG1 e Obatã IAC 1669/20, destacaram-se por apresentarem altos valores de área foliar, produção de matéria seca de parte aérea e total em função da disponibilidade de N e K. A maioria das cultivares avaliadas mostrou-se responsiva às variações nas disponibilidades de N e K.

2.7. Descrição das cultivares de café utilizadas

1) Catuaí Amarelo IAC 62

Obtido do cruzamento de Caturra Amarelo IAC 476-11 com Mundo Novo IAC 374-19. O híbrido obtido foi o IAC H2077, na população F₃ (IAC H 2077-2-5), foram obtidos cafeeiros homocigotos para porte baixo e para frutos amarelos, denominado Catuaí Amarelo, mas com o desejado vigor da cultivar Mundo Novo. A cultivar foi liberada pelo Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) em 1972. Como características principais tem o porte baixo, as plantas são vigorosas como

a da cultivar Mundo Novo, alta produtividade. Apresentam altura média de 2,0 a 2,3 m e diâmetro de copa de 1,8 a 2,0 m. São cultivares susceptíveis à ferrugem e aos nematoides. O sistema radicular é bem desenvolvido, podendo chegar a dois metros de profundidade em determinados tipos de solo (Carvalho et al., 2008).

2) Paraíso MG H 419-1

A cultivar Paraíso MG H 419-1 é resultante da mistura de sementes de oito progênies, em geração F₄, obtida através do cruzamento artificial realizado na UFV, entre a cultivar Catuaí Amarelo IAC 30 e a seleção do Híbrido do Timor UFV 445-46, proveniente do Centro de Investigação das Ferrugens do Cafeeiro, em Oeiras, Portugal (Carvalho et al., 2008). As plantas dessa cultivar são resistentes ao agente causal da ferrugem do cafeeiro, em relação aos nematoides em ensaios de avaliações realizados, observaram-se cafeeiros resistentes e suscetíveis. Os cafeeiros apresentam altura média de 1,95m aos 72 meses após o plantio.

3) Icatu Vermelho IAC 4045

Cultivar oriunda de uma hibridação interespecífica entre um cafeeiro tetraploide de *Coffea canephora* e uma planta da cultivar Bourbon Vermelho de *C. arabica*, realizada em 1950 pelo IAC. Foram necessários três retrocruzamentos para a espécie de *C. arabica*, a partir da geração F₁, utilizando-se, como progenitores recorrentes, cafeeiros selecionados da cultivar Mundo Novo. A partir do cruzamento inicial, as sementes obtidas dos retrocruzamentos com Mundo Novo apresentaram as frutas de coloração vermelha (XcXc) e a maturação, em época próxima a cultivar Mundo Novo. Essa cultivar é considerada moderadamente suscetível ou suscetível a ferrugem, devido ao aparecimento de novas raças de ferrugem, principalmente nos anos de altas produções. Em relação aos nematoides é considerada resistente. A altura das plantas, com oito anos, varia de 2,5 a 2,9 m assemelhando a cultivar Mundo Novo. O sistema radicular das plantas novas é bastante desenvolvido, características estas provavelmente adquiridas do cafeeiro robustas, utilizadas no primeiro cruzamento (Carvalho et al., 2008).

4) Obatã IAC 1669/20

Sua origem se deu através do cruzamento da cultivar Villa Sarchi com o Híbrido de Timor (CIFC 832/2), gerando o híbrido F_1 (H 316/4), realizado pelo Centro de Investigações das Ferrugens do Cafeeiro (CIFC), em Oeiras, Portugal. Em 1972, em Campinas, SP, foram plantados cafeeiros F_2 provenientes deste híbrido e selecionados por varias gerações. Durante os ciclos de seleção ocorreram cruzamentos naturais com as cultivares Catuaí Vermelho e ou Catuaí Amarelo, utilizadas como testemunhas nos experimentos. A cultivar Obatã IAC 1669-20 é resultante de uma provável hibridação natural de um cafeeiro de H 361/4 com outra cultivar Catuaí Vermelho. Apresenta elevada resistência à ferrugem, suas plantas apresentam porte baixo (Carvalho et al.,2008).

5) Caturra Amarelo

Sua origem pode ter sido através de uma mutação do próprio Caturra Vermelho. Como características principais apresentam porte reduzido, é susceptível à ferrugem. Trata-se da primeira mutação de café encontrada com porte reduzido e elevada capacidade produtiva. No entanto, nas condições em que foi plantada no Brasil, apresenta falta de rusticidade e vigor após algumas colheitas (Carvalho et al., 2008).

6) IPR 102

Cultivar originada do cruzamento do Icatu com Catuaí. Tem porte médio, alto vigor vegetativo, moderada suscetibilidade à ferrugem, maturação tardia, com grãos médios (Sera, 2005).

7) Catuaí Vermelho IAC 15

Originou-se da recombinação a partir de um cruzamento artificial entre cafeeiros selecionados, das cultivares Caturra Amarelo IAC 476-11 e Mundo Novo IAC 374-19, de *C. arabica*, dando origem ao híbrido IAC H 2077, no IAC no ano de 1949. A ideia era transferir para a cultivar Mundo Novo o fator dominante caturra (CtCt), o qual confere porte baixo, por meio da redução do comprimento dos internódios. Selecionou-se as plantas de frutas vermelhas na população F3 (IAC H 2077-2-5), homozigota CtCt e heterozigota para os alelos Xcxc, responsáveis pela cor do exocarpo. Essa cultivar é suscetível à ferrugem e aos

nematoides, mas possuem elevado vigor. A altura das plantas pode atingir em média 2,0 a 2,4 m (Carvalho et al., 2008).

8) Rubi MG 1192

Obtida através do cruzamento entre as cultivares Catuaí e Mundo Novo, realizado por técnicos do IAC nos anos de 1960. No início da década de 70, foi introduzida em Minas Gerais, pela Epamig (Carvalho et al., 2008). Diversas progênes desse material foram avaliadas em diferentes locais do Sul de Minas, lançada para cultivo comercial sob designação de Rubi MG 1192. Suas características são porte baixo, os frutos maduros são vermelho-escuros, produtiva e vigorosa.

9) IPR 103

Originou-se do cruzamento entre cafeeiros do grupo Icatú e Catuaí, realizado no IAC. Por meio do método genealógico, foi selecionada a progênie IAPAR 77054-40, que deu origem à progênie F₅ IAPAR 77054-40-10. As plantas possuem porte médio, maior vigor que o Catuaí, e a produtividade é alta. Tolerante à ferrugem do cafeeiro, à necrose dos frutos e ao sistema radicular rústico. É adaptada para regiões quentes e solos pobres (Carvalho et al., 2008).

10) Araponga MG1

Derivada da hibridação artificial entre a cultivar Catuaí Amarelo IAC 86 e a seleção de híbrido de Timor UFV 446-08, realizado pela Epamig/UFV, em Viçosa, MG. Posteriormente à hibridação, foi adotado o método genealógico de melhoramento de plantas. A primeira geração (F₁) foi obtida no *Campus* da UFV, sob denominação de H516. Com seleção seguida de teste de progênie, as gerações F₂, F₃ e F₄ foram testadas na Fazenda Experimental da EPAMIG, em São Sebastião do Paraíso, MG, e a geração F₅ foi testada em ensaios de competição na Fazenda Itatiaia, em Araponga, Mg e na fazenda Experimental da Epamig em São Sebastião do Paraíso, MG, onde selecionaram-se 25 plantas que deram origem, em geração F₆, à cultivar Araponga MG (Carvalho et al., 2008).

As plantas apresentam alto vigor vegetativo, alta produtividade e resistência à ferrugem.

11) Topázio MG 1190

Oriunda do cruzamento entre as cultivares Catuaí Amarelo e Mundo Novo, realizado em 1960 no IAC. Posteriormente, foi introduzido em Minas Gerais, pelo Sistema Estadual de Pesquisa agropecuária (Epamig/UFLA/UFV), a seleção foi intensificada, culminando com a liberação da cultivar Topazio MG 1190. Possui porte baixo, com altura média de 2,0 m. Tem excelente produtividade e elevado vigor vegetativo (Carvalho et al., 2008).

12) San Ramon

Originária da Costa Rica, onde é conhecida por café Enano ou San Lorenzo. Suas características são plantas muito pequenas e muito produtivas, possuem internódios muitos curtos, folhas grandes, elíptica, verde-escuras, com base e ápice obtusos (Carvalho et al., 1991). Pode ser recomendada como planta ornamental, dados o seu pequeno porte e abundância de flores e frutos.

13) Icatu Precoce 3282

Sua origem foi provavelmente por meio do cruzamento natural entre Icatu Vermelho e Bourbon Amarelo, com posterior seleção de uma planta matriz em uma população de Icatu, segregante para coloração de fruto. Após alguns ciclos de seleção, a progênie resultante foi chamada de Icatu Precoce 3282 (Carvalho et al., 2008). O nível de resistência ao agente da ferrugem não é elevado, apresentando, principalmente, resistência do tipo horizontal. As plantas apresentam altura e diâmetro de copa menores que o Icatu Amarelo, são bem precoces.

14) Tupi IAC 1669-33

Derivada do híbrido H 316/4 (Villa Sarchi e Híbrido de Timor CIFC 832/2). A cultivar Tupi IAC 1669-33 foi lançada em 2000, pelo IAC. Essa cultivar é de porte baixo e mais precoce que as cultivares Catuaí Vermelho e Obatã. É resistente à ferrugem e tem boa produção, semelhante à apresentada pelo Catuaí Vermelho. A altura e o diâmetro de copa são em média menores que o catuaí Vermelho e o Obatã (Carvalho et al., 2008).

15) Catucaí 785/15

Originou-se do cruzamento entre Icatu Vermelho 785 e Catuaí Vermelho, em Caratinga, MG objetivando obter uma cultivar de porte baixo com resistência à ferrugem. As plantas são uniformes, apresentam maior precocidade de maturação de frutos, sendo classificada como precoce. É pouco resistente à falta de água e apresenta baixo vigor vegetativo.

16) Acaiá Cerrado MG 1474.

Essa cultivar pertence também ao grupo Acaiá (seleção da cultivar Mundo Novo), originalmente desenvolvido pelo IAC. É derivada da cultivar Acaiá 474-1, lançada pelo Sistema Estadual de Pesquisa Agropecuária (EPAMIG/UFLA/UFV), em 1995. No início dos trabalhos de melhoramento em Viçosa, MG, a seleção de plantas individuais na progênie LCP-474-1 proporcionou descendência muito heterogênia para vários caracteres de interesse. Através de seleção entre e dentro de progênie, o material foi avançado e as avaliações realizadas na região do Triângulo Mineiro e do Alto Paranaíba de Minas Gerais. Ao final de cinco ciclos de seleção, chegou-se a cultivar Acaiá Cerrado MG 1474 (Carvalho et al., 2008).

Apresenta porte alto, elevada produção, excelente vigor vegetativo, com bom enfolhamento durante todo o ano.

17) Oeiras MG 6851

Foi desenvolvida pela UFV e a Epamig, através do método genealógico a partir do híbrido CIFC HW 26/5, resultante do cruzamento entre Caturra Vermelho (CIFC 19/1) e Híbrido de Timor (CIFC 832/1), sendo, portanto uma cultivar pertencente ao germoplasma Catimor. Destacam-se quanto à produção de frutos, ao vigor vegetativo, à longevidade e resistência à ferrugem-do-cafeeiro, ao porte baixo. A produtividade assemelha-se à da cultivar Catuaí Vermelho IAC 44 (Carvalho et al., 2008).

18) São Bernardo

Sua origem se deu na Guatemala, onde é conhecida como café Pache. Foi introduzido no Brasil em 1950. Suas principais características são que possui porte super reduzido, seus internódios são muito curtos, boa produção e grãos grandes. Plantas com 1,50 a 1,60 m de altura (Carvalho et al., 1991).

19) Pau Brasil MG1

Derivada da hibridação artificial entre a cultivar Catuaí Vermelho IAC 141 e a seleção de Híbrido de Timor UFV 442-34, realizada por pesquisadores da Epamig/UFV. A primeira geração foi obtida e conduzida pela UFV, em Viçosa, MG, sob a denominação H518. As seleções posteriores foram feitas pelo método genealógico de melhoramento de plantas, nas Fazendas Experimentais da Epamig, em Patrocínio e São Sebastião do paraíso, MG, e na Empresa DATERRA Atividades Rurais Ltda., em Patrocínio, MG, dando origem à cultivar Pau-Brasil MG1 em geração F₅. Apresenta boa resistência à ferrugem do cafeeiro, porte baixo e boa adaptação às principais regiões cafeeiras de Minas Gerais e de outros estados. (Carvalho et al., 2008).

20) Caturra Vermelho

Sua origem se deu por meio de uma ou duas mutações naturais de Bourbon Vermelho. Foi encontrada na Serra do Caparaó, na divisa dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo. Trata-se da primeira mutação de café encontrada de porte reduzido e elevada capacidade produtiva. Com isso essa cultivar contribuiu para grandes alterações no plano geral de melhoramento do cafeeiro. São suscetíveis à ferrugem e caracterizam-se, principalmente por possuírem porte reduzido, decorrentes da redução do comprimento de internódios dos ramos dos ponteiros e laterais (Carvalho et al., 2008).

3. TRABALHOS

3.1. DESEMPENHO DE CULTIVARES DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) CULTIVADAS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA EM DIFERENTES NÍVEIS DE POTÁSSIO

3.1.1. RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de 20 cultivares de *Coffea arabica*, em dois níveis de K, cultivadas em solução nutritiva, visando à identificação de cultivares com eficiência nutricional para potássio. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial (20x2), sendo 20 cultivares de café em dois ambientes de cultivo: nível adequado de K (4,0 mmol/L) e baixo (1,5 mmol/L) de K, com três repetições. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso com oito litros de solução nutritiva contendo duas plantas. Foram avaliadas as seguintes características: altura de planta, número de folhas totais, número de nós, comprimento de internódio, diâmetro de caule, área foliar, matéria seca de raiz, matéria seca de caule, matéria seca de folha, matéria seca de parte aérea, matéria seca total, relação raiz/ parte aérea, índices de eficiência de enraizamento, eficiência de absorção, eficiência de translocação de potássio, eficiência de produção de biomassa e eficiência de utilização de potássio. Para as

características de matéria seca, foi verificada a resposta à adubação ao potássio, de acordo com a metodologia proposta no CIAT (1978), baseando-se no Parâmetro α . Das características morfoagronômicas as variáveis altura de planta e comprimento de internódio foram as que apresentaram maior variabilidade entre as cultivares para ambos os níveis de K. A maior variabilidade entre as cultivares foi constatada para produção de matéria seca total, na dose adequada de potássio. Já dose baixa de potássio, destacaram-se as características produção de matéria seca de caule, de folha, da parte aérea e total. Os índices de eficiência de produção de biomassa e de utilização de potássio foram responsáveis pela maior discriminação das cultivares na dose adequada de potássio. E na dose baixa as maiores contribuições foram dos índices de eficiência de absorção, de produção de biomassa e de utilização de potássio. As cultivares antigas San Ramon e São Bernardo apresentaram os menores valores para a maioria das características avaliadas. Em geral, a classificação genotípica pelo parâmetro α , apresentou concordância à classificação pelos índices de eficiência. Existe variabilidade genética entre as 20 cultivares de café para as características morfoagronômicas e de produção de matéria seca nos dois ambientes de cultivo estudados. A cultivar Obatã IAC 1669/20 é a mais eficiente na utilização de potássio e na produção de biomassa na dose adequada de K. Para ambientes com baixa disponibilidade de potássio as cultivares Obatã IAC 1669/20, Caturra Amarelo, IPR 102, Catuaí Vermelho IAC 15, Rubi MG 1192, Araponga MG 1, Tupi IAC 1669-33, Catucaí 785/15 e Caturra Vermelho, são as mais eficientes nutricionalmente, podendo ser recomendadas para futuros programas de melhoramento, visando à obtenção de cultivares de café eficientes para baixa disponibilidade de potássio. Além disso, as cultivares Araponga MG 1, Tupi IAC 1669-33 e Catucaí 785/15 são responsivas à adição de potássio no ambiente de cultivo. Pelo fato desse estudo ter sido conduzido em solução nutritiva, é necessária a confirmação da potencialidade dessas cultivares classificadas como eficientes para potássio, em nível de campo.

3.1.2. ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the performance of 20 cultivars of *Coffea arabica* in two levels of K, grown in nutrient solutions, in order to identify cultivars with nutritional efficiency for potassium. We used a randomized block design in a factorial (20x2), 20 varieties of coffee growing in two environments: adequate level of K (4.0 mmol/L) and low (1.5 mmol/L) K, with three replications. Each experimental unit consisted of a vase with eight liters of nutrient solution containing two plants. We evaluated the following characteristics: plant height, total number of leaves, number of nodes, internodal length, stem diameter, leaf area, root dry matter, dry matter of stem, leaf dry weight, shoot dry matter, total dry matter, the root / shoot, rooting efficiency rates, absorption efficiency, efficiency of translocation of potassium efficiency of biomass production and use efficiency of potassium. For the characteristics of dry matter was verified response to potassium fertilization, according to the methodology proposed by CIAT (1978), based on the parameter α . Agronomic characteristics of the plant height and internodal length showed the highest variability among cultivars for both levels of K. The greater variability among cultivars was observed for total dry matter production, the appropriate dose of potassium. Already low dose of potassium, highlighted the characteristics of stem dry matter production, leaf, shoot and complete. The efficiency rates of biomass production and use of potassium were responsible for greater discrimination of the cultivars in the appropriate dosage of potassium. And the low dose was the major contribution of the indices of absorption efficiency, biomass production and utilization of potassium. Cultivars old San Ramon and San Bernardo had the lowest values for most traits. In general, the genotypic classification by the parameter α , the concordance indices for the classification efficiency. Genetic variability among 20 cultivars of coffee for agronomic characteristics and dry matter production in both culture environments studied. The cultivar Obatã IAC 1669/20 is the most efficient use of potassium in biomass production in the appropriate dose of K. For environments with low potassium availability cultivars Obatã IAC 1669/20, Caturra Amarelo, IPR 102, Catuaí Vermelho IAC 15, Rubi MG 1192, Araponga MG 1, Tupi IAC 1669-33, Catucaí 785/15 and Caturra Vermelho, are nutritionally more efficient and can be

recommended for future breeding programs, aimed at obtaining coffee cultivars efficient for low potassium availability. Additionally, the cultivars Araponga MG 1 Tupi IAC 1669-33 and Catucaí 785/15 are responsive to potassium addition in the culture environment. Because this study was conducted in nutrient solution is needed to confirm the potential of these cultivars classified as efficient for potassium at the field level.

3.1.3. INTRODUÇÃO

A cafeicultura é de grande importância econômica e social no cenário nacional e internacional. O Brasil é o maior produtor e exportador de café, responsável por 35% da produção mundial, sendo o segundo maior consumidor, sendo superado apenas pelos Estados Unidos da América (CONAB, 2013).

Apesar da posição de destaque do Brasil na produtividade do cafeeiro, isso tem sido possível com a aplicação de grandes quantidades de adubos químicos, que englobam cerca de 40% dos custos de produção, uma vez que o território brasileiro é constituído, em grande parte, por solos ácidos e pobres em nutrientes, em especial o potássio (K) (Fageria et al., 1998; MAPA, 2013). O Brasil tem importado a maior parte do fertilizante potássico utilizado na agricultura, especialmente na forma de cloreto de potássio (KCl) (DNPM, 2012).

Por conseguinte, é premente buscar alternativas para a redução do uso do KCl na agricultura tropical. Em particular ao cafeeiro, essa premência torna-se ainda mais acentuada pelo K por ser o segundo nutriente mais exigido pela cultura (Matiello et al., 2010).

Para tanto, a opção é conjugar os conhecimentos dos melhoristas e fitotecnistas para a seleção de genótipos de cafeeiro com maior eficiência na absorção e utilização de K, como o passo inicial para a consecução de programas de melhoramento.

Não obstante haver uma raridade de pesquisas relacionadas com a eficiência nutricional em cafeeiro (Pereira, 1999; Ferrari et al., 2001; Tomaz et al., 2005; Moura et al., 2007), ainda não há estudo em que o K seja avaliado isoladamente. Esta é uma peculiaridade de maior relevância, uma vez que o K

tem sido considerado, há muito tempo, o “elemento da qualidade” em nutrição de plantas (Malavolta et al., 1997). A quantidade de potássio nas partes vegetativas e nos frutos do cafeeiro demonstra que esse nutriente desempenha um papel importante na nutrição dessa cultura. Contudo, apesar de conferir qualidade e de aumentar a produção, geralmente ignora-se a extensão dos efeitos benéficos da adubação potássica (Matiello et al., 2010).

Considerando-se que a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), desenvolve pesquisa com melhoramento de café desde 1970, julgou-se oportuna para iniciar os trabalhos à realização desta pesquisa que teve como objetivo avaliar o desempenho de 20 cultivares de *Coffea arabica*, em dois níveis de K, cultivadas em solução nutritiva, visando à identificação de cultivares com eficiência nutricional para potássio.

3.1.4. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi instalado e conduzido pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, Unidade Regional Zona da Mata (EPAMIG/UREZM), em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia (DFT) da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, em solução nutritiva estática aerada, nos anos de 2004 a 2005.

O experimento foi instalado seguindo o delineamento em blocos casualizados, no arranjo em fatorial 20 X 2, sendo 20 cultivares de café e duas doses de potássio, adequada (4,0 mmol/L) e baixa (1,5 mmol/L) com 3 repetições, totalizando 40 tratamentos, sendo a parcela constituída por duas plantas por vaso, cultivadas em solução nutritiva.

Os materiais genéticos utilizados no estudo, a genealogia e o porte da planta encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Relação das cultivares de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) avaliadas no experimento

Cultivares	Genealogia	Porte
1-Catuai Amarelo IAC 62	Caturra Amarelo IAC 476-11 x Mundo Novo IAC 374-19	Baixo
2-Paraíso MG H 419-1	Catuai Amarelo IAC 30 x Híbrido de Timor UFV 445-46	Baixo
3-Icatu Vermelho IAC 4045	(<i>Coffea canephora</i> x Bourbon Vermelho) x Mundo Novo	Alto
4-Obatã IAC 1669/20	(Villa Sarchi x Híbrido de Timor) x Catuai	Baixo
5-Caturra Amarelo	Mutação do Caturra Vermelho	Baixo
6-IPR 102	Icatu x Catuai	Baixo
7-Catuai Vermelho IAC 15	Caturra Amarelo IAC 476-11 x Mundo Novo	Baixo
8-Rubi MG 1192	Catuai x Mundo Novo	Baixo
9-IPR 103	Icatu x Catuai	Baixo
10-Araponga MG1	Catuai Amarelo IAC 86 x Híbrido de Timor UFV 446-08	Baixo
11-Topázio MG 1190	Catuai Amarelo x Mundo Novo	Baixo
12-San Ramon	---	Baixo
13-Icatu Precoce 3282	Icatu Vermelho x Bourbon Amarelo	Alto
14-Tupi IAC 1669-33	Villa Sarchi x Híbrido de Timor	Baixo
15-Catucaí 785/15	Icatu Vermelho x Catuai Vermelho	Baixo
16-Acaiá Cerrado MG 1474	Seleção do Acaiá (seleção Mundo Novo)	Alto
17-Oeiras MG 6851	Híbrido CIFC HW 26/5 (Caturra Vermelho x Híbrido de Timor)	Baixo
18-São Bernardo	---	Baixo
19-Pau Brasil MG1	Catuai Vermelho IAC 141 x Híbrido de Timor UFV 442/34	Baixo
20-Caturra Vermelho	Mutação de Bourbon Vermelho	Baixo

Instalação e condução do experimento

O semeio das 20 cultivares de café foi realizado em bandeja plástica com dimensões 25cm x 35cm perfuradas no fundo com broca 4mm para drenar o excesso de água, contendo areia previamente tratada com HCl 0,1 N, durante 24 horas e posteriormente lavada com água deionizada. Foram semeadas 65 sementes sem pergaminho para cada cultivar. Realizou-se irrigações semanais até que as plântulas atingissem a fase de “orelha de onça”, quando foram transplantadas para os baldes plásticos (duas plantas / balde) contendo 8,0 litros da solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) modificada (Tabelas 2 e 3). A oxigenação da solução nutritiva foi efetuada por compressor Schultz e distribuída pelas bancadas por uma rede de canos pvc de 20 mm.

Tabela 2 – Concentração de macro e micronutrientes da solução nutritiva utilizada no nível adequado de K (4,0 mmol/L)

Macronutrientes			
Elemento	mmol/L	Sais (mg/L)	mL/L
K	4,0	----	----
P	1,0	KH ₂ PO ₄	1,0
N-No ₃	1,0	KNO ₃	3,0
Ca	1,0	Ca(NO ₃) ₂	3,5
Mg	1,0	MgSO ₄	1,3
S	1,0	----	----
Micronutrientes			g/L
HBO ₃			2,83
MnCl ₂ . 4H ₂ O			1,81
ZnSO ₄ . 7 H ₂ O			0,22
CuSO ₄ . 5 H ₂ O			0,08
NaMoO ₄ .2H ₂ O			0,02
Na ₂ EDTA			33,5
FeCl ₃			24,33

Tabela 3 – Concentração de macro e micronutrientes da solução nutritiva utilizada no nível baixo de K (1,5 mmol/L)

Macronutrientes			
Elemento	mmol/L	Sais (mg/L)	mL/L
K	1,5	----	----
P	1,0	NH ₄ H ₂ PO ₄	1,0
N-NO ₃	1,0	KNO ₃ / NH ₄ NO ₃	1,5 / 0,25
Ca	1,0	Ca(NO ₃) ₂	3,5
Mg	1,0	MgSO ₄	1,3
S	1,0	----	----
Micronutrientes			g/L
HBO ₃			2,83
MnCl ₂ . 4H ₂ O			1,81
ZnSO ₄ . 7 H ₂ O			0,22
CuSO ₄ . 5 H ₂ O			0,08
NaMoO ₄ .2H ₂ O			0,02
Na ₂ EDTA			33,5
FeCl ₃			24,33

Durante todo o período de condução do experimento os volumes das soluções de cada balde foram completados com água desionizada até o volume de 8,0 L. O pH foi ajustado semanalmente com HCl (1,0N) e NaOH (1,0N) entre 5,5 e 6,5 e a troca das soluções foi realizada com base no monitoramento da

condutividade elétrica (CE), quando a depleção da mesma atingiu 30% da CE inicial. Realizaram-se duas trocas de solução nutritiva.

Características Avaliadas

As características avaliadas foram obtidas pela média das duas plantas da parcela.

Características Morfoagronômicas

- a) Altura da planta (AP): medida em metro, da base do ramo ortotrópico ao ápice da planta;
- b) Diâmetro do caule (DC): medido em milímetro, com uso de paquímetro, efetuado na base do ramo ortotrópico;
- c) Número de folhas totais (NF): obtido pela contagem em toda planta;
- d) Área foliar total (AF): quantificada após a colheita do experimento utilizando-se um medidor de área foliar modelo AT Delta-T Devices;
- e) Número de nós (NNO): obtido pela contagem no ramo ortotrópico; e
- f) Comprimento de internódio (CI): relação entre a altura da planta e o número de nós.

Características de Produção de Matéria Seca

Após a coleta das plantas o material vegetal foi separado em raiz, caule, folhas, foi submetido à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 70°C, por 72 horas, pesado, obtendo-se assim as seguintes características: matéria seca de raiz (MSR), matéria seca de Caule (MSC), matéria seca de Folha, matéria seca de parte aérea (somatório da MSC e MSF) e matéria seca total (somatório das MSPA e MSR). O material vegetal seco foi moído em moinho Willey, com peneira número 20, uma amostra foi retirada e enviada ao laboratório de análise foliar da Universidade Federal de Viçosa (UFV) para determinação dos teores de macro e micronutrientes. Os teores de N, P, K, Ca, Mg, Zn e Cu, foram submetidos à digestão sulfúrica (Johnson, 1959). A partir do conhecimento dos teores de K nas diversas partes da planta, foram obtidos os conteúdos de K pelo produto entre os teores e a produção de matéria seca de cada segmento da planta.

Estimativa da Eficiência Nutricional para Potássio

De acordo com as estimativas de matéria seca e de conteúdos K, foram estimados os índices de eficiência nutricional, conforme as relações apresentadas a seguir, de acordo com Siddiqi e Glass (1981) e Baillan et al. (1991):

- a) Eficiência de enraizamento (EE) = (g de matéria seca de raiz)² / mg de K total na planta;
- b) Eficiência de absorção (EA) = mg de K total na planta / g de matéria seca de raiz;
- c) Eficiência de translocação (ET) = mg de K na parte aérea / mg de K total na planta;
- d) Eficiência de produção de biomassa (EPB) = (g de matéria seca de parte aérea)² / mg de K na parte aérea;
- e) Eficiência de utilização (EU) = (g matéria seca total)² / mg de K total na planta.

Análise Estatística dos Dados

Análise de Variância

No estudo da interação, a análise de variância (ANOVA) foi realizada utilizando-se o programa GENES (Cruz, 2006), conforme o modelo estatístico expresso a seguir:

$$Y_{ijk} = \mu + B_k + G_i + D_j + G \times D_{ij} + \varepsilon_{ijk},$$

Em que:

Y_{ijk} : valor observado, referente a i-ésimo genótipo no j-ésimo bloco dentro da j-ésima dose de potássio (K);

μ : média geral;

B_k : efeito da k-ésimo bloco;

G_i : efeito fixo do i-ésimo genótipo;

D_j : efeito fixo da j-ésima dose de K;

$G \times D_{ij}$: efeito da interação dupla entre o i-ésimo genótipo e a j-ésima dose de K; e

ε_{ijk} : erro experimental.

O esquema da ANOVA das características avaliadas encontra-se no Quadro 1.

Quadro 1- Esquema da análise de variância das características avaliadas, com os quadrados médios e os respectivos testes F

FV	GL	QM	E(QM)	F
Bloco	(b-1)		$\sigma^2 + gd\sigma_b^2$	
Genótipo (G)	(g-1)	QMG	$\sigma^2 + b\sigma_{gd}^2 + db\Phi_g$	QMG/QMGxD
Doses K (D)	(d-1)	QMD	$\sigma^2 + gb\Phi_d$	QMD/QM ϵ
GxD (G*D)	(g-1)(d-1)	QMGxD	$\sigma^2 + b\Phi_{gd}$	QMGxD/QM ϵ
Erro (ϵ)	[(gd) - 1].[b-1]	QM ϵ	σ^2	
Total	(dgb) - 1			

$$\Phi_g = \sum_{i=1}^g G_i^2 / (g-1); \quad l = g/(g-1)$$

$$\Phi_d = \sum_{j=1}^d D_j^2 / (d-1)$$

Independente do nível de significância da interação genótipo x doses de K, foi realizado, para todas as variáveis, o teste de agrupamento Scott-Knott (1974), em nível de 5% de probabilidade, utilizando o programa GENES (Cruz, 2006).

Resposta à adubação de potássio utilizando o Parâmetro α

O parâmetro α (Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1978), estimador da eficiência de utilização do potássio que considera o incremento na produção de matéria seca (MS) devido ao fornecimento do nutriente para a planta, foi obtido pela expressão:

$$\alpha = \frac{\text{MS em nível adequado de K} - \text{MS em nível baixo de K}}{\text{Diferença entre os níveis adequado e baixo de K}}$$

Em que, MS: matéria seca; nível adequado (4,0 mmol/L de K) e nível baixo (1,5 mmol/L de K).

Os valores de produção de matéria seca (MS) das diferentes cultivares no nível 1,5 mmol/L de potássio e seus respectivos valores α serão plotados nos eixos x e y do sistema cartesiano.

A média da produção de matéria seca e a média do estimador α no nível 1,5 mmol/L de potássio, dividem o sistema de coordenadas cartesianas em quadrantes, permitindo classificar os genótipos em quatro grupos:

Quadrante 1: Genótipos eficientes e responsivos (ER): representam os genótipos que produziram acima da média, sob condições de baixo nível de potássio (1,5 mmol/L) e responderam bem ao incremento na produção, a adequado nível do nutriente (4,0 mmol/L);

Quadrante 2: Genótipos eficientes e não responsivos (ENR): representam os genótipos que produziram acima da média em baixo nível de potássio (1,5 mmol/L), mas não responderam ao nível adequado desse nutriente (4,0 mmol/L);

Quadrante 3: Genótipos não eficientes e responsivos (NER): representam os genótipos que produziram abaixo da média, sob baixo nível de potássio (1,5 mmol/L), mas apresentam apreciável incremento na produção a em nível adequado de potássio (4,0 mmol/L);

Quadrante 4: Genótipos não eficientes e não responsivos (NENR): representam os genótipos que produziram abaixo da média, em baixo ou em nível adequado de potássio.

3.1.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características Morfoagronômicas

Para altura de planta (AP) não houve diferença significativa entre as médias gerais nas doses de potássio estudadas (Tabela 4). Tanto para a dose adequada, quanto para dose baixa de K, constatou-se variabilidade entre as

cultivares de café com formação de quatro grupos (Tabela 4). Este fato pode ser justificado, uma vez que a exigência nutricional varia muito entre cultivares da mesma espécie, em função da variabilidade genética (Marschner, 1995).

Na dose adequada de K, a cultivar Acaia Cerrado MG 1474, apresentou a maior altura de planta, resultado esperado, uma vez que essa cultivar pode atingir 3,1m de altura. Essa característica foi herdada da cultivar Acaia IAC 474-1 (seleção da cultivar Mundo Novo), com altura média de 4,2m (Carvalho et al., 2008). O segundo grupo foi formado pelas cultivares Icatu Vermelho 4045, Icatu Precoce 3282 também classificadas de porte alto, por serem originadas da cultivar Mundo Novo (Carvalho et al., 2008). As menores estimativas de médias para altura de plantas foram constatadas para as cultivares Tupi IAC 1669-33, São Bernardo e San Ramon (Tabela 4). A primeira cultivar apresenta porte baixo e as duas últimas cultivares são antigas e apresentam plantas extremamente baixas (Carvalho et al., 2008).

Na dose baixa de potássio, as maiores médias de altura de planta foram também observadas para as cultivares Acaia Cerrado MG 1474, Icatu Vermelho 4045, Icatu Precoce 3282 (Tabela 4), o que era esperado ocorrer, considerando tratar-se de genótipos de porte alto, com origem apartir da cultivar Mundo Novo (Tabela 1). A menor média observada foi para a cultivar San Ramon. Como constatado nesse trabalho, Moura et al. (2007), verificaram que a cultivar Icatu Precoce 3282 foi a mais alta e as cultivares San Ramon e São Bernardo apresentaram as menores alturas, quando avaliadas em solução nutritiva com quatro combinações de níveis de N e K. Resultados semelhantes também foram encontrados por Cardoso (2010), para as cultivares Acaia cerrado IAC 1474, Icatu Precoce 3282, Icatu Vermelho IAC 4045, San Ramon e São Bernardo, quando cultivadas em solução nutritiva com doses adequada e baixa de nitrogênio.

Tabela 4- Médias da altura de planta (AP), número de folha (NF), número de nós (NNO), comprimento de internódio (CI), diâmetro de caule (DC), área foliar (AF), de 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva, com doses de potássio (k), adequada (+K): 4,0 mmol.l⁻¹ e baixa (-K): 1,5 mmol.l⁻¹

Cod	Cultivares	AP (cm)		NF ^{1/}		NNO ^{1/}		CI (cm) ^{2/}		DC (mm)		AF (cm ²) ^{1/}	
		+K	-K	+K	-K	+K	-K	+K	-K	+K	-K	+K	-K
1	Catuaí Amarelo IAC 62	46,38 C	47,37 B	39,00 B	36,33 A	13,00 A	12,33 A	3,57 B	3,84 B	0,51 B	0,58 B	2253,78 A	2289,70 A
2	Paraíso MG H 419-1	45,60 C	42,32 B	40,00 B	33,33 B	12,50 A	12,00 A	3,65 B	3,56 B	0,58 A	0,48 C	2307,38 A	1920,70 A
3	Icatu Vermelho 4045	56,32 B	55,80 A	32,33 B	27,00 B	12,67 A	12,00 A	4,45 A	4,65 A	0,50 B	0,46 C	1581,72 B	1435,27 C
4	Obatã IAC 1669/20	43,22 C	42,35 B	43,50 A	33,00 B	11,33 B	11,67 B	3,82 B	3,63 B	0,67 A	0,65 A	2323,20 A	1938,45 A
5	Caturra Amarelo	43,33 C	43,42 B	45,83 A	41,00 A	12,67 A	12,00 A	3,43 C	3,62 B	0,56 A	0,67 A	2459,57 A	2064,30 A
6	IPR 102	40,15 C	42,30 B	46,83 A	38,50 A	10,00 B	11,17 B	3,56 B	3,78 B	0,66 A	0,61 A	2138,03 A	1984,88 A
7	Catuaí Vermelho IAC 15	42,70 C	44,77 B	42,50 A	37,00 A	13,00 A	12,67 A	3,28 C	3,53 B	0,52 B	0,57 B	2114,70 A	2181,17 A
8	Rubi MG 1192	42,63 C	42,17 B	42,33 A	38,00 A	12,67 A	12,83 A	3,37 C	3,29 C	0,57 A	0,65 A	2406,72 A	2148,08 A
9	IPR 103	39,93 C	36,80 C	35,33 B	28,83 B	11,00 B	11,50 B	3,64 B	3,20 C	0,52 B	0,48 C	1911,83 B	1777,53 B
10	Araponga MG1	46,67 C	40,67 B	50,67 A	34,00 B	13,17 A	11,83 B	3,49 B	3,47 C	0,64 A	0,65 A	2627,70 A	2042,02 A
11	Topázio MG 1190	39,98 C	43,87 B	35,83 B	40,17 A	12,33 A	11,67 B	3,38 C	3,76 B	0,58 A	0,52 B	1571,50 B	2098,87 A
12	San Ramon	28,60 D	27,03 D	40,50 B	29,50 B	12,83 A	12,17 A	2,23 E	2,26 E	0,42 B	0,39 C	1650,98 B	1236,35 C
13	Icatu Precoce 3282	53,68 B	61,03 A	30,50 B	35,00 A	12,50 A	12,33 A	4,28 A	4,95 A	0,51 B	0,56 B	1448,45 B	1623,73 B
14	Tupi IAC 1669-33	36,52 D	36,57 C	47,00 A	41,50 A	11,33 B	11,17 B	3,22 C	3,29 C	0,68 A	0,71 A	2459,17 A	1971,77 A
15	Catuaí 785/15	40,65 C	37,93 C	51,50 A	40,33 A	12,83 A	11,67 B	3,18 C	3,25 C	0,64 A	0,71 A	2283,00 A	1891,45 A
16	Acaiaí Cerrado MG 1474	62,48 A	59,80 A	38,83 B	30,17 B	13,83 A	12,67 A	4,53 A	4,72 A	0,53 B	0,53 B	2096,38 A	1525,12 C
17	Oeiras MG 6851	41,03 C	42,15 B	31,67 B	28,33 B	11,00 B	11,17 B	3,73 B	3,77 B	0,49 B	0,51 B	1721,98 B	1727,52 B
18	São Bernardo	32,60 D	33,80 C	31,67 B	40,67 A	11,50 B	11,50 B	2,75 D	2,93 D	0,48 B	0,54 B	1815,67 B	2025,23 A
19	Pau Brasil MG1	43,35 C	38,93 B	50,83 A	36,67 A	13,17 A	12,00 A	3,29 C	3,24 C	0,52 B	0,58 B	2498,85 A	1892,33 A
20	Caturra Vermelho	40,12 C	41,87 B	37,67 B	36,33 A	12,50 A	12,33 A	3,20 C	3,40 C	0,58 A	0,64 A	2132,72 A	2071,27 A
	Média	41,47a	43,05a	40,72a**	35,28b	12,29a**	11,93b	3,50b	3,61a*	0,56a	0,57a	2090,17a**	1892,29b
	CV _e %	8,31		16,31		4,58		6,61		11,19		15,99	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo critério de agrupamento de Scott-Knott ao em nível de 5% de probabilidade.

^{1/} Média geral para cada variável, seguida da mesma letra não diferem significativamente entre si em nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

^{2/} Média geral para cada variável, seguida da mesma letra não diferem significativamente entre si em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

A média geral do número de folhas (NF) foi maior na dose adequada em relação à dose baixa. Houve formação de dois grupos para as duas doses de cultivo (Tabela 4). Na dose adequada as cultivares, Caturra Amarelo, IPR 102, Catuaí Vermelho IAC 15, Rubi MG 1192, Tupi IAC 1669-33, Catucaí 785/15, Pau Brasil MG 1, Obatã 1669-20 e Araponga MG 1, apresentaram os maiores números de folhas (NF). Já na dose baixa as maiores médias para NF foram observadas para as cultivares Catuaí Amarelo IAC 62, Topázio MG 1190, Icatu precoce 3282, São Bernardo, Caturra Amarelo, IPR 102, Catuaí Vermelho IAC 15, Rubi MG 1192, Tupi IAC 1669-33, Catucaí 785/15 e Pau Brasil MG 1 (Tabela 4). As folhas do cafeeiro são importantes, pois representam o crescimento vegetativo da planta, sendo o local por onde é captado a energia solar e o CO₂ necessário para os processos fotossintéticos (Beltrão, 1999). Um maior crescimento foliar em mudas é desejável, já que as folhas realizam processos de conversão de energia luminosa em energia química, essencial para seu crescimento e desenvolvimento (Marenco e Lopes, 2005).

Novamente para o número de nós (NNO), observou-se maior média na dose adequada (Tabela 4). E também se verificou a formação de dois grupos de cultivares nas duas doses de potássio. As maiores médias para essa característica na dose adequada foram observadas para as cultivares, Catuaí Amarelo IAC 62, Paraíso MG H 419-1, Icatu Vermelho 4045, Caturra Amarelo, Rubi Mg 1192, IPR 103, San Ramon, Icatu precoce 3282, Acaí cerrado MG 1474, Pau Brasil MG 1, Caturra Vermelho, Araponga MG 1, Topázio MG 1190 e Catucaí 785/15, apresentando como média 12,12 nós. As 11 primeiras cultivares também apresentaram maiores médias na dose baixa de potássio, com média de 12,30 nós (Tabela 4). Essa característica é um bom indicador da quantidade disponível de gemas produtivas, já que é considerado um dos principais componentes de produtividade (Bonomo et al., 2004). De acordo com Tomaz (2005), maiores números de nós, podem originar aumento no número de ramos plagiotrópicos primários e maior produção no número de ramificações secundárias, e, assim, beneficiar a produção.

Observou-se maior média geral para o comprimento de internódio (CI) na dose baixa de potássio (Tabela 4). Ampla variabilidade foi constatada entre as cultivares para essa característica, sendo que para a dose adequada houve a formação de quatro grupos e para a dose baixa, cinco grupos (Tabela 4). As

cultivares Icatu Vermelho IAC 4045, Icatu Precoce 3282, Acaiá Cerrada 1474 apresentaram os maiores comprimentos de internódio nas duas doses de potássio. Por outro lado, as cultivares San Ramon e São Bernardo apresentaram os menores valores (Tabela 4). Essas cultivares também apresentaram o mesmo comportamento quando cultivadas em solução nutritiva com doses adequada e baixa de nitrogênio (Cardoso, 2010).

Para o diâmetro de caule (DC), não houve diferença significativa entre as médias nas duas doses de potássio (Tabela 4). Nas duas doses de potássio, houve variabilidade entre as cultivares, com a formação de dois grupos para a dose adequada e três grupos para a dose baixa (Tabela 4). Na dose baixa de K, as maiores médias do diâmetro de caule foram expressas pelas cultivares Caturra Amarelo, Rubi MG 1192, Caturra Vermelho, Obatã IAC 1669/20, IPR 102, Araponga MG1, Tupi IAC 1669/33 e Catucaí 785/15. As últimas cinco cultivares também apresentaram maiores médias na dose adequada. Já as cultivares Paraíso MG 419/1, Icatu Vermelho 4045, IPR 103 e San Ramon foram as que apresentaram as menores médias na dose baixa de K, sendo que as últimas três cultivares também apresentaram menores médias na dose adequada, além das cultivares Catuaí Amarelo IAC 62, Catuaí Vermelho IAC 15, Icatu Precoce 3282, Acaiá Cerrado MG 1474, Oeiras MG 6851, São Bernardo e Pau Brasil MG 1. De acordo com Gomes e Paiva (2004), as mudas devem ter maior diâmetro de caule para melhor equilíbrio do crescimento da parte aérea.

A maior média geral da área foliar (AF) foi observada na dose adequada de potássio. (Tabela 4). Entretanto, a maior variabilidade entre as cultivares foi observada na dose mais baixa de potássio. No cultivo em dose adequada, as maiores médias foram verificadas para as cultivares, Catuaí Amarelo IAC 62, Paraíso MG H 419-1, Obatã IAC 1669/20, Caturra Amarelo, IPR 102, Catuaí Vermelho IAC 15, Rubi MG 1192, Araponga MG 1, Tupi IAC 1669-33, Catucaí 785/15, Pau Brasil MG 1, Caturra Vermelho, Acaiá cerrado MG 1474. As 12 primeiras cultivares também apresentaram maiores médias na dose baixa de potássio, além das cultivares Topázio MG 1190 e São Bernardo. Já as cultivares Icatu Vermelho 4045, San Ramon, apresentaram as menores estimativas de área foliar em ambas as doses de potássio. Resultado semelhante foi verificado por Cardoso (2010), em que a cultivar San Ramon, também apresentou menor área

foliar quando cultivada em solução nutritiva com doses adequada e baixa de nitrogênio.

A importância da área foliar de uma cultura é conhecida por ser indicativo de produtividade, pois o processo fotossintético depende da interceptação da energia luminosa e a sua conversão em energia química (Favarin et al., 2002). O potássio atua no processo de abertura e fechamento dos estômatos que, por sua vez, regula o processo de assimilação de carbono e perda de água, afetando a turgescência e a expansão foliar, o que propicia melhor aproveitamento da radiação solar (Malavolta, 2006).

Produção de Matéria Seca

A maior média geral de matéria seca de raiz (MSR) foi constatada na dose baixa de potássio (Tabela 5).

Na dose adequada, ocorreu a formação de dois grupos, em que as cultivares Paraíso MG H 419-1, Obatã IAC 1669/20, Araponga MG1, Tupi IAC 1669-33 e Catucaí 785/15, apresentaram as maiores quantidades de MSR. Nas condições de baixo nível de K aplicado, também se observou formação de dois grupos, sendo que as cultivares Paraíso MG H 419-1, Obatã IAC 1669/20, Caturra Amarelo, IPR 102, Rubi MG 1192, Araponga MG 1, Tupi IAC 1669-33, Catucaí 785/15, Caturra Vermelho, apresentaram maiores quantidades de MSR. As cultivares Paraíso MG 419-1, Obatã IAC 1669/20, Araponga MG1, Catucaí 785/15 e Tupi IAC 1669-33, apresentaram as maiores produções independentes das doses aplicadas. O maior número de cultivares na dose baixa observado pode ser atribuído ao fato dessas terem investido mais em produção de raízes, para melhor adaptação ao meio de cultivo (Tabela 5). A matéria seca de raiz é importante para absorção de nutrientes desde que estejam relacionadas com as características morfológicas e fisiológicas das raízes.

As raízes do cafeeiro são órgãos fundamentais, principalmente como elementos de suporte, de absorção de nutrientes e água e como órgãos de produção de várias substâncias orgânicas complexas, vitais à sua própria fisiologia e à da planta inteira (Tomaz et al, 2001). Um sistema radicular extenso pode explorar maior volume de solo e absorver mais água e nutrientes (Fageria, 1998). Raízes mais finas apresentam geometria mais favorável para a absorção de nutrientes (Barber, 1984), sendo que o aumento na área superficial da raiz de

acordo com a menor disponibilidade de K pode ser um mecanismo de compensação da planta em solos mais pobres (Hallmark e Barber, 1981).

Embora o desenvolvimento radicular seja controlado por fatores genéticos, a quantidade de raízes e sua distribuição horizontal e vertical são influenciadas por fatores ambientais, como o sistema de manejo, tipo de solo, etc. (Mitchell e Tell, 1977). Com isso, são diversos os mecanismos relacionados às características morfológicas e fisiológicas da planta que colaboraram para uma melhor absorção dos nutrientes, como: sistema radicular extenso, que possibilita a exploração de maior volume do solo, alta relação entre raízes e parte aérea, habilidade do sistema radicular em modificar a rizosfera, possibilitando superar baixos níveis de nutriente (Fageria e Baligar, 1993).

Quanto à matéria seca de caule (MSC) não houve diferença significativa entre as médias nas doses de potássio estudadas (Tabela 5). Nos dois ambientes de cultivo com o potássio foram verificadas variabilidades para essa característica, sendo que na dose adequada houve a formação de dois grupos, sendo que as cultivares Catuaí Amarelo IAC 62, Paraíso MG H 419-1, Obatã IAC 1669/20, Caturra Amarelo, IPR 102, Catuaí Vermelho IAC 15, Araponga MG 1, Topázio MG 1190, Tupi IAC 1669-33, Catucaí 785/15, Acaia cerrado MG 1474, Pau Brasil MG 1, Caturra Vermelho, apresentaram as maiores médias para MSC.

Na dose baixa observou-se a formação de três grupos, sendo as cultivares Obatã IAC 1669/20, Caturra Amarelo, IPR 102, Rubi MG 1192, Tupi IAC 1669-33, obtiveram as maiores quantidades de MSC, o que pode ser atribuído aos maiores DC dessas cultivares (Tabela 4). Enquanto as cultivares IPR 103 e San Ramon foram as menos produtivas (Tabela 5). A maior variabilidade genética existente entre as cultivares avaliadas no baixo nível de K reforça a oportunidade de identificação de materiais segregantes superiores em programas de melhoramento genético do cafeeiro arábica.

Tabela 5- Matéria seca de raiz (MSR), matéria seca de caule (MSC), matéria seca de folha (MSF), matéria seca de parte aérea (MSPA), matéria seca total (MST), relação raiz/ parte aérea (RRPA), de 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva, com doses de potássio (K), adequada (+K): 4,0 mmol.L⁻¹ e baixa (-K): 1,5 mmol.L⁻¹

Cod	Cultivares	MSR (g) ^{1/}		MSC (g)		MSF (g) ^{2/}		MSPA (g)		MST (g)		RRPA (g.g ⁻¹) ^{1/}	
		+K	-K	+K	-K	+K	-K	+K	-K	+K	-K	+K	-K
1	Catuai Amarelo IAC 62	2,73 B	3,08 B	4,56 A	5,25 B	11,79 A	11,34 A	16,35 A	16,59 A	19,08 B	19,66 A	0,167 A	0,185 A
2	Paraíso MG H 419-1	3,25 A	3,28 A	4,74 A	3,84 B	11,23 A	9,63 A	15,97 A	13,47 B	19,22 B	16,75 B	0,201 A	0,244 A
3	Icatu Vermelho 4045	2,34 B	2,48 B	3,93 B	4,09 B	7,24 B	6,83 C	11,17 B	10,92 C	13,52 C	13,39 C	0,214 A	0,227 A
4	Obatã IAC 1669/20	3,12 A	4,00 A	6,67 A	6,26 A	13,45 A	10,85 A	20,12 A	17,11 A	23,24 A	21,11 A	0,156 A	0,235 A
5	Caturra Amarelo	2,81 B	3,52 A	4,92 A	6,12 A	11,92 A	11,02 A	16,84 A	17,14 A	19,65 B	20,66 A	0,166 A	0,207 A
6	IPR 102	2,74 B	3,85 A	5,43 A	5,72 A	11,04 A	10,75 A	16,47 A	16,48 A	19,21 B	20,32 A	0,168 A	0,237 A
7	Catuai Vermelho IAC 15	2,83 B	3,18 B	4,48 A	5,00 B	11,52 A	10,01 A	16,00 A	15,01 A	18,83 B	18,19 A	0,177 A	0,213 A
8	Rubi MG 1192	2,88 B	3,96 A	4,05 B	5,56 A	11,16 A	11,17A	15,21 A	16,73 A	18,09 B	20,69 A	0,189 A	0,237 A
9	IPR 103	2,55 B	2,59 B	3,82 B	2,74 C	9,52 B	8,48 B	13,35 B	11,22 C	15,90 C	13,82 C	0,193 A	0,232 A
10	Araponga MG1	3,84 A	3,86 A	5,52 A	4,74 B	13,12 A	10,54 A	18,65 A	15,28 A	22,49 A	19,14 A	0,208 A	0,254 A
11	Topázio MG 1190	2,67 B	2,94 B	4,48 A	4,30 B	9,05 B	10,26 A	14,96 A	14,56 A	17,63 B	17,49 A	0,180 A	0,205 A
12	San Ramon	2,43 B	2,03 B	2,14 B	1,65C	8,14 B	6,03 C	10,28 B	8,87 C	12,71 C	10,90 C	0,238 A	0,235 A
13	Icatu Precoce 3282	2,32 B	2,90 B	3,70 B	5,26 A	7,08 B	8,45 B	10,78 B	13,71 B	13,10 C	16,60 B	0,223 A	0,214 A
14	Tupi IAC 1669-33	3,55 A	3,74 A	5,12 A	6,17 A	12,87 A	11,15 A	17,99 A	17,32 A	21,54 A	21,06 A	0,200 A	0,217 A
15	Catucaí 785/15	3,84 A	3,83 A	4,96 A	5,01 A	13,24 A	10,28 A	18,20 A	15,29 A	22,03 A	19,12 A	0,212 A	0,249 A
16	Acaiá Cerrado MG 1474	2,78 B	3,03 B	5,24 A	5,27 A	9,65 B	7,91 B	14,88 A	13,18 B	17,66 B	16,22 B	0,189 A	0,231 A
17	Oeiras MG 6851	2,03 B	2,49 B	3,40 B	3,81 B	8,45 B	9,30 A	11,86 B	13,10 B	13,88 C	15,59 B	0,171 A	0,190 A
18	São Bernardo	2,78 B	2,84 B	2,90 B	3,31 B	8,15 B	9,84 A	12,98 B	13,15 B	15,75 C	15,99 B	0,216 A	0,215 A
19	Pau Brasil MG1	3,02 B	2,82 B	4,68 A	4,55 A	11,71 A	10,04 A	16,39 A	14,60 A	19,41 B	17,42 A	0,184 A	0,193 A
20	Caturra Vermelho	2,75 B	3,47 A	4,43 A	4,95 A	9,22 B	10,48 A	13,65 B	15,43 A	16,40 C	18,90 A	0,212 A	0,226 A
	Média	2,86b	3,19a	4,46a	4,68a	10,48a	9,72b	15,10a	14,46a	17,97a	17,65a	0,19b	0,22a
	CV _e %	17,54		19,22		17,21		15,68		14,84		15,78	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo critério de agrupamento de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade.

^{1/} Média geral para cada variável, seguida da mesma letra não diferem significativamente entre si em nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

^{2/} Média geral para cada variável, seguida da mesma letra não diferem significativamente entre si em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Verificou-se maior média geral para a matéria seca de folha (MSF) na dose adequada de potássio (Tabela 5). Na dose adequada de potássio, houve a formação de dois grupos, onde as cultivares Catuaí Amarelo IAC 62, Paraíso MG H 419-1, Obatã IAC 1669/20, Caturra Amarelo, IPR 102, Catuaí Vermelho IAC 15, Rubi MG 1192, Araponga MG1, Tupi IAC 1669-33, Catucaí 785/15 e Pau Brasil MG 1 apresentaram as maiores quantidades de MSF (Tabela 4). Essas cultivares também apresentaram as maiores médias para essa característica na dose baixa de potássio, além das cultivares Topázio MG 1190, Oeiras MG 6851, São Bernardo e Caturra Vermelho. Esses resultados podem estar associados ao fato dessas cultivares também terem apresentado os maiores valores para o NF, NNO e AF (Tabela 4). As cultivares Icatu vermelho 4045 e San Ramon foram classificadas entre as cultivares com menores médias em ambas as doses estudadas (Tabela 5), resultado esperado uma vez que essas cultivares apresentaram menores valores para o NF e AF (Tabela 4).

Para a matéria seca de parte aérea (MSPA), não houve diferença significativa entre as médias nas doses adequada e baixa de potássio (Tabela 5). Observou-se maior variabilidade entre as cultivares na dose baixa de K quando comparada com a dose adequada. Em ambas as doses de K aplicada, as cultivares Catuaí Amarelo IAC 62, Obatã IAC 1669/20, Caturra Amarelo, IPR 102, Catuaí Vermelho IAC 15, Rubi MG 1192, Araponga MG 1, Topázio MG 1190, Tupi IAC 1669-33, Catucaí 785/15 e Pau Brasil MG1 apresentaram as maiores produções de MSPA. E as cultivares Icatu Vermelho 4045, IPR 103 e San Ramon foram as menos produtivas. Esse comportamento pode ser atribuído às quantidades de MSC e MSF produzidas nessas doses (Tabela 5).

A média de matéria seca total (MST), não apresentou diferença significativa para os dois ambientes de cultivo. Foram observadas para as duas doses de K, ampla variabilidade para essa característica entre as cultivares, com a formação de três grupos (Tabela 5).

Na dose adequada as cultivares Obatã IAC 1669/20, Araponga MG 1, Tupi IAC 1669-33 e Catucaí 785/15 apresentaram maiores quantidades de MST (Tabela 5). E as menores médias foram constatadas para as cultivares Icatu Vermelho 4045, IPR 103, San Ramon, Icatu Precoce 3282, Oeiras MG 6851, São Bernardo e Caturra Vermelho. Esse comportamento está associado às maiores e menores produções de MSR e MSPA (Tabela 5).

Para a dose baixa de K, as cultivares Obatã IAC 1669/20, Caturra Amarelo, IPR 102, Araponga MG 1, Tupi IAC 1669-33, Catucaí 785/15, Caturra Vermelho, Catuaí Amarelo IAC 62, Topázio MG 1190, Catuaí Vermelho IAC 15, Rubi MG 1192, e Pau Brasil MG 1 apresentaram maiores valores de MST. Sendo que para as sete primeiras cultivares esse resultado pode ser atribuído às maiores produções de MSR e MSPA. E para as cinco últimas foi devido às maiores produções de MSPA. As menores médias para MST foram observadas para as cultivares Icatu Vermelho 4045, IPR 103, San Ramon, esse resultado pode ser atribuído às menores quantidades de MSR e MSPA produzidas.

A quantidade total de matéria seca acumulada pela planta é reflexo direto da produção fotossintética líquida, somada à quantidade de nutrientes minerais absorvidos (Bourdeau, 1958).

A maior média geral para a relação matéria seca de raiz/ parte aérea (RR/PA), foi verificada na dose baixa de potássio (Tabela 5). Tanto na dose adequada quanto na dose baixa, não foi verificada diferença significativa entre as cultivares (Tabela 5). Dentre os diversos mecanismos relacionados com as características morfológicas e fisiológicas da planta que contribuem para o uso eficiente de nutrientes, está a relação entre as raízes e a parte aérea. Quanto menor a relação raízes/ parte aérea maior a eficiência nutricional da variedade (Fageria e Baligar, 1993). A limitação nutricional acarreta maior redução no crescimento da planta do que das raízes (Marschner, 1995), demonstrando que as raízes tornaram drenos relativamente mais fortes para carboidratos em relação à parte aérea, ocorrendo com isso redução desta antes que as raízes sejam afetadas (Vance et al., 2003).

Eficiências Nutricionais

Verificou-se aumento significativo na eficiência de enraizamento (EE), com a redução de K no meio de cultivo (Tabela 6), em decorrência do aumento da média geral da MSR (Tabela 5) e redução da média geral do conteúdo de potássio (Tabela 10, Apêndice A). Por outro lado, Neves et al. (2005) e Amaral et al. (2011), avaliando quatro cultivares de café arábica em três níveis de potássio cultivados em solos, não verificaram diferenças significativas entre as médias, da eficiência de produção de raiz, com a redução deste elemento no meio de cultivo.

Houve variabilidade para eficiência de enraizamento (EE) entre as cultivares avaliadas na dose adequada de K, (Tabela 6). Resultados contrários foram encontrados por Neves et al. (2005) e Amaral et al. (2011), onde esses autores não verificaram diferenças significativas entre as cultivares quando utilizou-se a dose adequada de K em cultivo com solos.

Na dose adequada de K, houve a formação de dois grupos, sendo que as cultivares Paraíso MG H 419-1, Obatã IAC 1669/20, Araponga MG 1, Tupi IAC 1669-33 e Catucaí 785/15 apresentaram as maiores EE (Tabela 6).

Com a restrição de K no meio de cultivo observaram-se também variabilidade entre as cultivares, resultado semelhante foi obtido por Amaral et al. (2011), em cultivo com solo. Por outro lado, Neves et al. (2005), não verificaram diferenças significativas entre as cultivares.

Na dose baixa de K, as cultivares foram classificadas em dois grupos, onde Obatã IAC 1669/20, Caturra Amarelo, IPR 102, Rubi MG 1192, Araponga MG 1, Tupi IAC 1669-33, Catucaí 785/15 e Caturra Vermelho apresentaram as maiores EE (Tabela 6). Amaral et al. (2011), constataram que as cultivares Acaí IAC- 474-19' e 'Rubi MG-1192' apresentaram maior e menor eficiência na produção de raízes, respectivamente, quando cultivadas em baixo nível de K no solo. Vale acrescentar que Cardoso (2010) observou que as cultivares Obatã IAC 1669/20, Araponga MG 1 e Tupi IAC 1669-33 também apresentaram maiores eficiências de enraizamento quando cultivadas em solução nutritiva em dose baixa de nitrogênio.

As cultivares Obatã IAC 1669/20, Araponga MG 1, Tupi IAC 1669-33 e Catucaí 785/15, merecem atenção por parte de melhoristas e fitotecnistas, pois desenvolveram bem suas raízes, apresentando grande quantidade de matéria seca de raiz em condições de baixo nível desse nutriente, provavelmente para tentar extrair o máximo do nutriente e explorar o meio de cultivo com mais eficiência.

Para eficiência de absorção (EA) verificou-se maior média geral na dose adequada de potássio (Tabela 6). Não houve diferença significativa entre as cultivares, quando o cultivo ocorreu em nível adequado de potássio. Na dose baixa de potássio, houve formação de três grupos, em que as cultivares Catucaí Amarelo IAC 62 e San Ramon foram as mais eficientes na absorção de potássio, formando o primeiro grupo, embora tenha apresentado menores eficiências de

enraizamento (Tabela 6). A alta eficiência de absorção de potássio, não está necessariamente correlacionada com a alta produção de matéria seca (Clark e Duncan, 1991). Cultivares mais eficientes na absorção de nutrientes com baixos teores no meio de cultivo são geralmente consideradas melhor adaptadas a tais condições. Além da matéria seca de raiz produzida, outros fatores podem estar contribuindo na absorção de potássio, como morfologia da raiz (comprimento e diâmetro de raízes, formação de pelos radiculares e relação superfície de raiz/unidade de peso da parte aérea) e os parâmetros cinéticos ($V_{m\acute{a}x}$, K_m , $C_{m\acute{i}n}$) (Furlani et al., 1986; Barber, 1995; Fageria e Baligar, 1993; Bonato et al., 1998; Ahmad et al., 2001; Lima et al., 2005). O segundo grupo foi constituído pelas cultivares São Bernardo e Pau Brasil e, o terceiro grupo, com menor eficiente de absorção, foi constituído pela maioria das cultivares (Tabela 6), incluindo todas as cultivares com maiores eficiências de enraizamento. A diferença de absorção de nutriente entre genótipos de uma mesma espécie se dá basicamente por uma adaptação do sistema radicular à condição de estresse nutricional (Fageria, 1998).

Tabela 6- Índices de eficiência de enraizamento (EE), eficiência de absorção (EA), eficiência de translocação de potássio (ETK), eficiência de produção de biomassa (EPB), eficiência de utilização de potássio (EUK), de 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva, com doses de potássio (K), adequada (+K): 4,0 mmol.L⁻¹ e baixa (-K): 1,5 mmol.L⁻¹

Cod	Cultivares	EE (g ² .mg ⁻¹) ^{1/}		EA (mg.g ⁻¹) ^{1/}		ETK (mg.mg ⁻¹)		EPB (g ² .mg ⁻¹) ^{1/}		EUK (g ² .mg ⁻¹) ^{1/}	
		+K	-K	+K	-K	+K	-K	+K	-K	+K	-K
1	Catuai Amarelo IAC 62	0,0196 B	0,0421 B	142,4076 A	78,0771 A	0,8375 A	0,8841 A	0,8384 B	1,4420 B	0,9495 C	1,7583 B
2	Paraíso MG H 419-1	0,0298 A	0,0622 B	114,4255 A	54,7314 C	0,8110 A	0,8048 B	0,8759 B	1,2963 B	1,0257 C	1,6099 B
3	Icatu Vermelho 4045	0,0240 B	0,0467 B	97,8972 A	53,3632 C	0,8086 A	0,8346 A	0,7004 B	1,0869 B	0,8220 C	1,3684 B
4	Obatã IAC 1669/20	0,0283 A	0,0803 A	111,6146 A	50,0625 C	0,8395 A	0,7856 B	1,3898 A	1,8842 A	1,5587 A	2,2397 A
5	Caturra Amarelo	0,0221 B	0,0672 A	128,4138 A	53,6751 C	0,8253 A	0,7853 B	0,9704 A	2,0046 A	1,0863 B	2,2881 A
6	IPR 102	0,0219 B	0,0813 A	145,3947 A	48,3886 C	0,8560 A	0,7721 B	0,8536 B	1,9020 A	1,0018 C	2,2390 A
7	Catuai Vermelho IAC 15	0,0242 B	0,0623 B	117,1926 A	51,1579 C	0,8001 A	0,8341 A	0,9698 A	1,6593 A	1,0757 B	2,0346 A
8	Rubi MG 1192	0,0245 B	0,0880 A	118,5293 A	45,8818 C	0,8285 A	0,7634 B	0,8388 B	2,0581 A	0,9772 C	2,3931 A
9	IPR 103	0,0223 B	0,0491 B	114,4821 A	52,9974 C	0,8180 A	0,8047 B	0,7395 B	1,1419 B	0,8619 C	1,3929 B
10	Araponga MG1	0,0347 A	0,0854 A	110,8229 A	46,4349 C	0,7988 A	0,7510 B	1,0280 A	1,7760 A	1,1932 B	2,0908 A
11	Topázio MG 1190	0,0207 B	0,0499 B	129,3040 A	60,0641 C	0,8642 A	0,8287 A	0,7422 B	1,4721 B	0,8930 C	1,7569 B
12	San Ramon	0,0214 B	0,0269 B	112,7752 A	78,0698 A	0,8098 A	0,8164 A	0,4714 B	0,6118 C	0,5837 C	0,7566 C
13	Icatu Precoce 3282	0,0219 B	0,0512 B	109,4739 A	56,6350 C	0,8128 A	0,8556 A	0,5625 B	1,3401 B	0,6781 C	1,6836 B
14	Tupi IAC 1669-33	0,0326 A	0,0712 A	108,3937 A	53,8142 C	0,7923 A	0,7813 B	1,0655 A	1,9327 A	1,2145 B	2,2293 A
15	Catucaí 785/15	0,0388 A	0,0855 A	103,1292 A	49,58 05C	0,7677 A	0,7809 B	1,1404 A	1,6881 A	1,2556 B	2,0497 A
16	Acaiaí Cerrado MG 1474	0,0244 B	0,0579 B	118,9549 A	54,1232 C	0,8317 A	0,8377 A	0,8110 B	1,2925 B	0,9529 C	1,6433 B
17	Oeiras MG 6851	0,0158 B	0,0415 B	131,5563 A	60,7283 C	0,8299 A	0,8428 A	0,6536 B	1,3628 B	0,7402 C	1,6253 B
18	São Bernardo	0,0225 B	0,0473 B	124,4145 A	63,2898 B	0,8082 A	0,8368 A	0,6101 B	1,1957 B	0,7252 C	1,4753 B
19	Pau Brasil MG1	0,0242 B	0,0456 B	128,8975A	64,0537 B	0,8333 A	0,8463 A	0,8464 B	1,4202 B	0,9860 C	1,7095 B
20	Caturra Vermelho	0,0218 B	0,0737 A	128,3032 A	48,4663 C	0,7935 A	0,8003 B	0,6522 B	1,7975 A	0,7510 C	2,1558 A
	Média	0,03b	0,06a	119,82a	56,18b	0,82a	0,81a	0,84b	1,52a	0,97b	1,83a
	CVe%	41,63		20,17		4,41		20,72		18,65	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna pertencem ao mesmo grupo pelo critério de agrupamento de Scott-Knott em nível de 5% de probabilidade.

^{1/} Média geral para cada variável, seguida da mesma letra não diferem significativamente entre si em nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

^{2/} Média geral para cada variável, seguida da mesma letra não diferem significativamente entre si em nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Para eficiência de translocação de potássio (ETK) não houve diferença significativa entre as médias nas doses de potássio estudadas (Tabela 6). Na dose adequada de K não ocorreu diferença significativa entre as cultivares. Cardoso (2010), também não constatou diferenças significativas entre as mesmas cultivares para essa característica, quando avaliadas em solução nutritiva com dose adequada de nitrogênio. Entretanto, Ferreira et al. (2010), avaliando sete cultivares de café arábica sob cultivo hidropônico, verificaram variabilidade entre as cultivares, destacando as cultivares Topázio, Oeiras, Obatã e Paraíso, como as mais eficientes na translocação de potássio. Tomaz et al. (2008), avaliando quatro genótipos de café arábica enxertados em cinco progênies de café conilon, quanto às diferenças genéticas na eficiência de absorção, transporte e utilização de K, Ca e Mg, verificaram que apenas as combinações (enxerto/porta-enxerto) Catuaí 15/ES 38 e H514/ES 38 tiveram aumento na eficiência de translocação em relação às plantas não-enxertadas (pés-francos).

Na dose baixa de K, verificou-se a formação de dois grupos, em que as cultivares Catuaí Amarelo IAC 62, Icatu Vermelho 4045, Catuaí Vermelho IAC 15, Topázio MG 1190, San Ramon, Icatu Precoce 3282, Acaiá Cerrado MG 1474, Oeiras MG 6851, São Bernardo e Pau Brasil MG 1, apresentaram as maiores eficiências de translocação (Tabela 6). Dentre essas, somente as cultivares Catuaí Amarelo IAC 62 e San Ramon apresentaram maiores eficiências na absorção de K (Tabela 6). De acordo com Gabelman e Gerloff (1983), o movimento dos íons através das raízes e seu descarregamento no xilema envolvem vários mecanismos que podem limitar sua ascensão para a parte aérea e que podem ser a base das diferenças genotípicas na absorção e na movimentação dos nutrientes. Ressalta-se que as cultivares Icatu Vermelho IAC 4045, Icatu Precoce 3282, Acaiá Cerrado MG 1474 e Oeiras MG 6851, apresentam também maiores médias para eficiência de translocação, quando cultivadas na dose baixa de nitrogênio (Cardoso, 2010).

Observou-se para a produção de biomassa (EPB), que a maior média geral foi na dose baixa de potássio (Tabela 6). A eficiência de utilização diminuiu com o aumento da disponibilidade do nutriente ao meio de cultivo, visto que, nesta condição, não ocorre aumento na produção de biomassa na mesma proporção da absorção e do acúmulo do nutriente nos tecidos (Silva et al., 1996). Na dose adequada, houve a formação de dois grupos, em que as cultivares Obatã

IAC 1669/20, Araponga MG 1, Tupi IAC 1669-33, Catucaí 785/15, Caturra Amarelo e Catuaí Vermelho IAC 15, apresentaram as maiores eficiências de produção de biomassa. Sendo que as quatro primeiras cultivares também apresentaram alta eficiência de enraizamento (Tabela 6). Na dose baixa de K, houve a formação de três grupos, sendo que as cultivares Obatã IAC 1669/20, Caturra Amarelo, IPR 102, Catuaí Vermelho IAC 15, Rubi MG 1192, Araponga MG 1, Tupi IAC 1669-33, Catucaí 785/15 e Caturra Vermelho apresentaram as maiores produções de biomassa. Entre essas cultivares, somente a cultivar Catuaí Vermelho IAC 15 apresentou maior eficiência na translocação de K (Tabela 6). Enquanto a cultivar San Ramon, apresentou menor produção de biomassa, apesar de ter apresentado maiores eficiências de absorção e translocação de K (Tabela 6). De acordo com Rodríguez-Navarro e Rubio (2006), as espécies vegetais têm a tendência de absorver o K^+ em quantidades acima da atual necessidade, ficando o excedente armazenado no vacúolo celular.

A média geral da eficiência de utilização de potássio (EUK) foi maior na dose baixa desse elemento. Nas duas doses de cultivo houve a formação de três grupos (Tabela 6). No cultivo em dose adequada, somente a cultivar Obatã IAC 1669/20 foi eficiente na utilização de potássio, o que também foi constatado para a eficiência de produção de biomassa (Tabela 6). A maioria das cultivares foi inserida no terceiro grupo, apresentando as menores eficiências de utilização de potássio, esse resultado pode estar associado às menores eficiências de enraizamento e de produção de biomassa (Tabela 6). Na dose baixa as cultivares Obatã IAC 1669/20, Caturra Amarelo, IPR 102, Catuaí Vermelho IAC 15, Rubi MG 1192, Araponga MG 1, Tupi IAC 1669-33, Catucaí 785/15 e Caturra Vermelho foram as mais eficientes na utilização do potássio (Tabela 6), possivelmente, essa maior eficiência de utilização observada pode estar relacionada com as maiores eficiências de enraizamento e eficiência de produção de biomassa (Tabela 6). Podendo essas, serem indicadas para futuros trabalhos com melhoramento visando eficiência nutricional para o potássio em ambientes com baixa disponibilidade desse nutriente. A cultivar San Ramon foi classificada como a menos eficiente em utilizar o K (Tabela 6), podendo estar associada às menores eficiências de enraizamento e de produção de biomassa (Tabela 6). Cada material genético tem habilidade diferenciada de uso de um determinado nutriente absorvido (Furlani et al., 1984). Além disso, considerando a diversidade genética

da espécie *coffea arabica*, espera-se que ocorra grande diferenciação quanto à eficiência de absorção e utilização dos nutrientes.

Analizando o ambiente de cultivo em dose baixa de potássio, observou-se que os índices de eficiência estudados contribuíram para a divergência nutricional das cultivares, uma vez que apresentaram variabilidade genotípica. Destacando a eficiência de absorção, a eficiência de produção de biomassa e a eficiência de utilização de potássio. A existência de variabilidade tem sido constatada por vários autores (Pereira, 1999; Ferrari et al., 2001; Tomaz et al., 2008; Moura et al., 2007; Amaral et al., 2011) indicando a existência de variabilidade genética entre cultivares de café quanto à capacidade de absorção e utilização de potássio.

Classificação genotípica pelo Parâmetro α

Baseando-se no Parâmetro α , foi possível classificar as 20 cultivares de café arábica, em quatro grupos distintos, como pode ser visto nas figuras e tabelas a seguir.

As cultivares eficientes na utilização de potássio foram aquelas que atingiram produções de matérias secas acima da média no ambiente com 1,5mmol/L de potássio e, responsivas, as que atingiram um valor de α acima da média.

Matéria seca de Raiz (MSR)

A metodologia proposta no CIAT, em 1978, possibilitou discriminar as cultivares em quatro grupos quanto à eficiência de produção de matéria seca de raiz e à resposta à abutação de potássio (Figura 1).

No primeiro quadrante foram classificadas como eficientes e responsivas (ER) as cultivares: Paraíso MG H 419-1, Araponga MG1, Tupi IAC 1669-33, Catucaí 785/15 (Figura 1, Tabela 7), por terem expressado as maiores estimativas de matéria seca da raiz em condição de baixa dose de potássio (K), além de responderem, com maiores produções de MSR com o aumento da dose de K. As três últimas cultivares também apresentaram alta eficiência de enraizamento na baixa dose de potássio (Tabela 6). As cultivares Paraíso MG H 419-1, Araponga MG1 e Catucaí 785/15, também foram classificadas como eficientes e responsivas, em dose baixa de nitrogênio (Cardoso, 2010).

Por sua vez, as cultivares classificadas como não-eficientes e responsivas (NER), encontram-se no segundo quadrante: San Ramon, Pau Brasil MG1, IPR 103, São Bernardo, Icatu Vermelho 4045, Topázio MG 1190 e Acaiá Cerrado MG 1474 (Figura 1, Tabela 7), por expressarem as menores estimativas de matéria seca de raiz em condição de baixo K. Essas cultivares apresentaram menores eficiências de enraizamento nessa condição de cultivo (Tabela 6), entretanto respondem a adição desse elemento. Cardoso (2010) verificou que as cultivares Icatu Vermelho 4045, Acaiá Cerrado MG 1474 e São Bernardo também se comportaram como não-eficiente e responsivas quando cultivadas em meio de cultivo com dose baixa de nitrogênio.

As cultivares não-eficientes e não-responsivas (NENR), foram classificadas no terceiro quadrante: Catuaí Amarelo IAC 62, Catuaí Vermelho IAC 15, Oeiras MG 6851 e Icatu Precoce 3282 (Figura 1, Tabela 7), pois apresentaram baixa produção de matéria seca de raiz e de eficiência de enraizamento (Tabela 6) em ambas as doses de cultivo. As cultivares Catuaí Amarelo IAC 62, Icatu Precoce 3282 e Oeiras MG 6851, assim como nesse trabalho, foram classificadas como não-eficientes e não-responsivas em cultivo com doses baixa e adequada de nitrogênio (Cardoso, 2010).

As cultivares Eficientes e não-responsivas (ENR) foram classificadas no quarto quadrante: Caturra Amarelo, Caturra Vermelho, Obatã IAC 1669/20, Rubi MG 1192 e IPR 102, (Figura 1, Tabela 7), pois apresentaram maior produção de matéria seca de raiz em baixa dose de K. Essas cultivares também foram classificadas como eficientes no enraizamento (Tabela 6). No entanto, não responderam a adição de potássio.

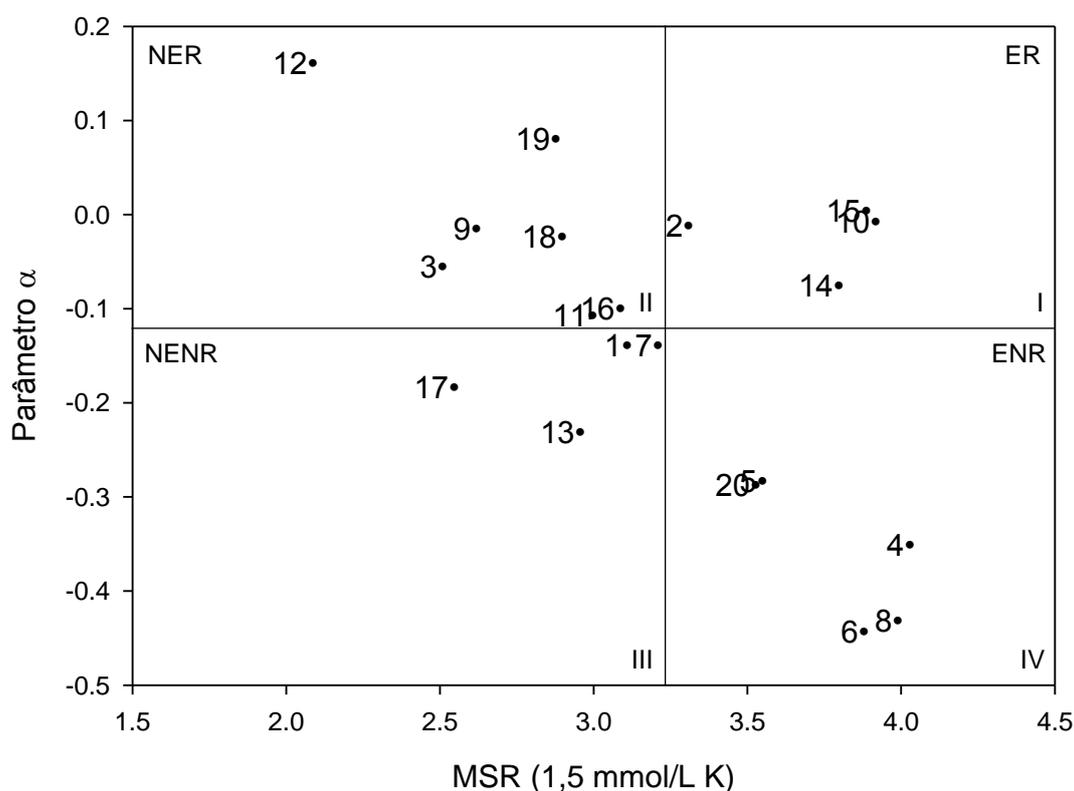


Figura 1: Discriminação genotípica baseada no parâmetro α (CIAT, 1978), em que: 1 = Catuaí Amarelo IAC 62; 2 = Paraíso MG H 419-1; 3 = Icatu Vermelho 4045; 4 = Obatã IAC 1669/20; 5 = Caturra Amarelo; 6 = IPR 102; 7 = Catuaí Vermelho IAC 15, 8 = Rubi MG 1192; 9 = IPR 103; 10 = Araponga MG1, 11 = Topázio MG 1190; 12 = San Ramon, 13 = Icatu Precoce 3282; 14 = Tupi IAC 1669-33; 15 = Catucaí 785/15; 16 = Acaiá Cerrado MG 1474; 17 = Oeiras MG 6851; 18 = São Bernardo; 19 = Pau Brasil MG1; 20 = Caturra Vermelho; NER = Genótipos Não-eficientes e Responsivos; ER = Genótipos eficientes e Responsivos; NENR = Genótipos Não-eficientes e Não-responsivos e; ENR = Genótipos Eficientes e Não-responsivos; I = Primeiro Quadrante; II = Segundo Quadrante; III = Terceiro Quadrante; IV = Quarto Quadrante.

Tabela 7. Avaliação de cultivares de café arábica quanto à eficiência de utilização de potássio com base no Parâmetro α (Centro Internacional de agricultura Tropical, 1978)

Cod.	Cultivares	MSR (g)		α (g g ⁻¹)*	Classificação
		+K	-K		
1	Catuaí Amarelo IAC 62	2,73	3,08	-0,14	NENR
2	Paraíso MG H 419-1	3,25	3,28	-0,012	ER
3	Icatu Vermelho 4045	2,34	2,48	-0,056	NER
4	Obatã IAC 1669/20	3,12	4,00	-0,352	ENR
5	Caturra Amarelo	2,81	3,52	-0,284	ENR
6	IPR 102	2,74	3,85	-0,444	ENR
7	Catuaí Vermelho IAC 15	2,83	3,18	-0,14	NENR
8	Rubi MG 1192	2,88	3,96	-0,432	ENR
9	IPR 103	2,55	2,59	-0,016	NER
10	Araponga MG1	3,84	3,86	-0,008	ER
11	Topázio MG 1190	2,67	2,94	-0,108	NER
12	San Ramon	2,43	2,03	0,16	NER
13	Icatu Precoce 3282	2,32	2,90	-0,232	NENR
14	Tupi IAC 1669-33	3,55	3,74	-0,076	ER
15	Catucaí 785/15	3,84	3,83	0,004	ER
16	Acaiá Cerrado MG 1474	2,78	3,03	-0,100	NER
17	Oeiras MG 6851	2,03	2,49	-0,184	NENR
18	São Bernardo	2,78	2,84	-0,024	NER
19	Pau Brasil MG1	3,02	2,82	0,08	NER
20	Caturra Vermelho	2,75	3,47	-0,288	ENR
Médias		2,86	3,19	-0,132	

*Eficiência de utilização, em gramas, de matéria seca de raiz produzida por grama de K aplicado;

ER= Eficiente e Responsivo;

ENR= Eficiente Não-responsivo;

NER= Não-eficiente e responsivo; e

NENR= Não-eficiente e Não Responsivo

Matéria Seca de Parte Aérea (MSPA)

As cultivares eficientes e responsivas (ER) foram classificadas no primeiro quadrante: Obatã IAC 1669/20, Araponga MG1, Caturra Amarelo, Catucaí 785/15, Tupi IAC 16699-33, Pau Brasil MG 1 (Figura 2, Tabela 8), por terem apresentado as maiores estimativas de matéria seca da parte aérea em condição de baixa dose de potássio (K), além de responderem a adição desse elemento. As cinco primeiras cultivares também foram classificadas como eficientes na produção de biomassa na dose baixa de K (Tabela 6). Sugerindo uma possível capacidade adaptativa dessas cultivares tanto a ambientes com deficiência de potássio, como naqueles cujos níveis de disponibilidade desse nutriente forem ideais. Cardoso (2010) também observou que as cultivares Catucaí 785/15, Tupi IAC 1669-33, Araponga MG1, Obatã IAC 1669/20, Caturra Amarelo foram eficientes e responsivas em dose baixa de nitrogênio.

No segundo quadrante foram classificadas as cultivares não-eficientes e responsivas (NER): Paraíso MG H 419-1, Acaíá Cerrado MG 1474, IPR 103 e San Ramon (Figura 2, Tabela 8), uma vez que expressaram as menores estimativas de matéria seca de parte aérea em condição de baixo K, mas responderam ao acréscimo desse nutriente. Essas cultivares apresentaram menor eficiência de produção de biomassa no meio de cultivo com baixa dose de K (Tabela 6). Cardoso (2010) verificou que as cultivares Paraíso MG H 419-1 e Acaíá Cerrado MG 1474, foram classificadas como não-eficientes e responsivas quando cultivadas em dose baixa de nitrogênio.

Foram classificadas como não-eficientes e não-responsivas (NENR) e encontram-se no terceiro quadrante as cultivares Icatu Vermelho 4045, São Bernardo, Oeiras MG 6851 e Icatu Precoce 3282 (Figura 2, Tabela 8), pois apresentaram menores produções de MSPA em ambas as doses de K. Verificou-se que essas cultivares também apresentaram menores eficiência de produção de biomassa nas duas doses de K estudadas (Tabela 6). As cultivares Icatu Precoce 3282, Icatu Vermelho 4045, Oeiras MG 6851 e São Bernardo também se comportaram como não-eficientes e não-responsivas quando cultivadas em solução nutritiva com doses adequada e baixa de nitrogênio (Cardoso, 2010).

As cultivares eficientes e não-responsivas (ENR) foram classificadas no quarto quadrante: IPR 102, Caturra Vermelho, Caturra Amarelo, Rubi MG 1192

Catuaí Amarelo IAC 62 e Topázio MG 1190, (Figura 2, Tabela 8), por terem expressado maior produção de MSPA na dose baixa de K. Foi verificado para as quatro primeiras cultivares maior eficiência de produção de biomassa (Tabela 6). Entretanto não responderem ao incremento de K. A cultivar Topázio MG 1190, também foi classificada como eficiente e não-responsiva quando cultivada em baixo nível de nitrogênio (Cardoso, 2010).

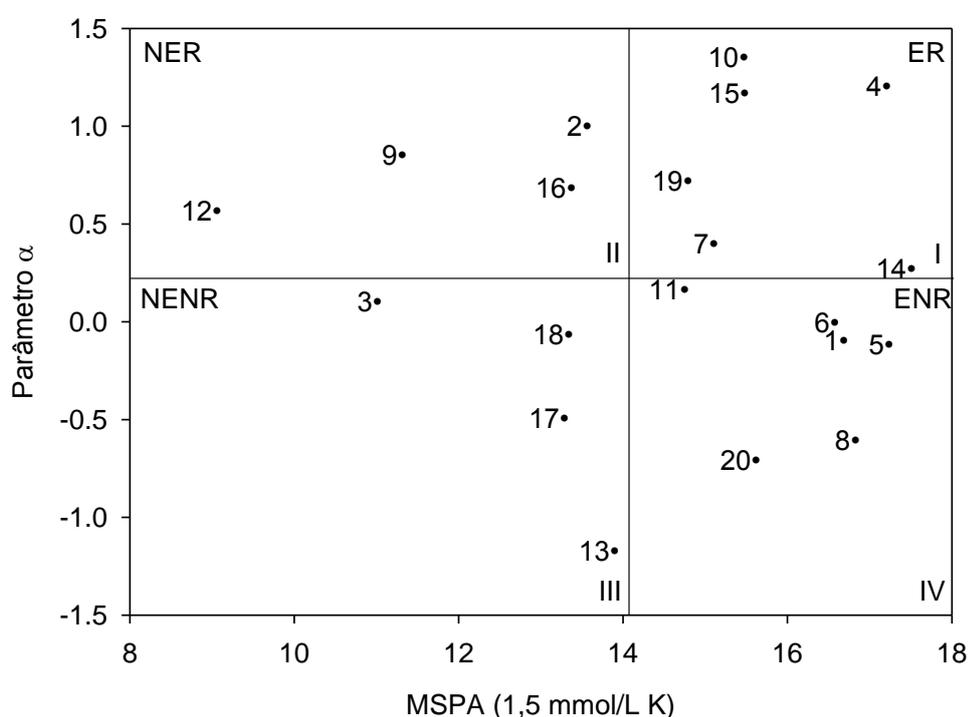


Figura 2: Discriminação genotípica baseada no parâmetro α (CIAT, 1978), em que: 1 = Catuaí Amarelo IAC 62; 2 = Paraíso MG H 419-1; 3 = Icatu Vermelho 4045; 4 = Obatã IAC 1669/20; 5 = Caturra Amarelo; 6 = IPR 102; 7 = Catuaí Vermelho IAC 15, 8 = Rubi MG 1192; 9 = IPR 103; 10 = Araçuaia MG1, 11 = Topázio MG 1190; 12 = San Ramon, 13 = Icatu Precoce 3282; 14 = Tupi IAC 1669-33; 15 = Catucaí 785/15; 16 = Acaíá Cerrado MG 1474; 17 = Oeiras MG 6851; 18 = São Bernardo; 19 = Pau Brasil MG1; 20 = Caturra Vermelho; NER = Genótipos Não-eficientes e Responsivos; ER = Genótipos eficientes e Responsivos; NENR = Genótipos Não-eficientes e Não-responsivos e; ENR = Genótipos Eficientes e Não-responsivos; I = Primeiro Quadrante; II = Segundo Quadrante; III = Terceiro Quadrante; IV = Quarto Quadrante.

Tabela 8. Avaliação de genótipos de café arábica quanto à eficiência de utilização de potássio com base no Parâmetro α (Centro Internacional de agricultura Tropical, 1978).

Cod.	Genótipos	MSPA (g)		α (g g ⁻¹)*	Classificação
		+K	-K		
1	Catuaí Amarelo IAC 62	16.35	16.59	-0.096	ENR
2	Paraíso MG H 419-1	15.97	13.47	1	NER
3	Icatu Vermelho 4045	11.17	10.92	0.1	NENR
4	Obatã IAC 1669/20	20.12	17.11	1.204	ER
5	Caturra Amarelo	16.84	17.14	-0.12	ENR
6	IPR 102	16.47	16.48	-0.004	ENR
7	Catuaí Vermelho IAC 15	16.00	15.01	0.396	ER
8	Rubi MG 1192	15.21	16.73	-0.608	ENR
9	IPR 103	13.35	11.22	0.852	NER
10	Araponga MG1	18.65	15.28	1.348	ER
11	Topázio MG 1190	14.96	14.56	0.16	ENR
12	San Ramon	10.28	8.87	0.564	NER
13	Icatu Precoce 3282	10.78	13.71	-1.172	NENR
14	Tupi IAC 1669-33	17.99	17.32	0.268	ER
15	Catuaí 785/15	18.2	15.29	1.164	ER
16	Acaia Cerrado MG 1474	14.88	13.18	0.68	NER
17	Oeiras MG 6851	11.86	13.1	-0.496	NENR
18	São Bernardo	12.98	13.15	-0.068	NENR
19	Pau Brasil MG1	16.39	14.6	0.716	ER
20	Caturra Vermelho	13.65	15.43	-0.712	ENR
Médias		15.10	14.46	0.259	

*Eficiência de utilização, em gramas, de matéria seca de parte aérea produzida por grama de K aplicado;
ER= Eficiente e Responsivo;
ENR= Eficiente Não-responsivo;
NER= Não-eficiente e responsivo; e
NENR= Não-eficiente e Não Responsivo

De acordo com o parâmetro α , as cultivares Araponga MG 1, Tupi IAC 1669-33 e Catuaí 785/15, foram classificadas como eficientes e responsivas para a produção de matéria de raiz e parte aérea em baixa dose desse nutriente.

Portanto, essas cultivares podem ser recomendadas para futuros programas de melhoramento de planta visando cultivares eficientes para ambientes com baixa disponibilidade de potássio. No entanto, para serem validados esses resultados, é necessário avaliações futuras em condição de campo.

O emprego de cultivares mais eficientes no uso de potássio permitirá aos produtores uma maior economia em relação ao custo de produção e à redução dos impactos ambientais com excesso de adubos. No entanto, é de suma importância que sejam feitos estudos genéticos e fisiológicos adequados, assim como avaliações em nível de campo, para futuras recomendações.

A seleção de genótipos superiores quanto à eficiência de potássio e à resposta ao incremento desse nutriente, é muito importante para o melhoramento genético de plantas, permitindo que novos avanços sejam feitos nessa área. Permitindo assim que os melhoristas direcionem os cruzamentos de seus parentais.

3.1.6. CONCLUSÕES

- 1) Existe variabilidade genética entre as 20 cultivares de café, para as características morfoagronômicas e para as características de produção de matéria seca nos dois ambientes de cultivo estudados;
- 2) A cultivar Obatã IAC 1669/20 é a mais eficiente na utilização de potássio e na produção de biomassa na dose adequada de K;
- 3) Para ambientes com baixa disponibilidade de potássio as cultivares Obatã IAC 1669/20, Caturra Amarelo, IPR 102, Catuaí Vermelho IAC 15, Rubi MG 1192, Araponga MG 1, Tupi IAC 1669-33, Catucaí 785/15 e Caturra Vermelho, são as mais eficientes nutricionalmente para esse nutriente, podendo ser recomendadas para futuros programas de melhoramento, visando à obtenção de cultivares de café eficientes para baixa disponibilidade de potássio;

- 4) As cultivares Araponga MG 1, Tupi IAC 1669-33 e Catucaí 785/15, são responsivas à adição de potássio no ambiente de cultivo;
- 5) Pelo fato desse estudo ter sido conduzido em solução nutritiva, é necessário a confirmação da potencialidade dessas cultivares classificadas como eficientes para potássio, em nível de campo.

3.1.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIC, 2013. Disponível em <<http://www.abic.com.br>> Acesso em 31 de janeiro, de 2013.
- Ahmad, Z., Gill, M.A., Qureshi, R.H (2001) Genotypic variations o phosphorus utilization efficiency of crops. *Journal of Plant Nutrition*, 24 (8):1149-1171.
- Amaral, J.F.T do, Martinez, H.E.P., Laviola, B.G., Fernandes Filho, E.I., Cruz, C. D. (2011) Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. *Ciência Rural*, 41 (4):621-629.
- Bailian, L., Mckeand, S.E., Allen, H.L. (1991) Genetic variation in nitrogen use efficiency of lobeolly pine seedlings. *Forest Science*, 37 (2):613-626.
- Barber, S.A. (1995) Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach. 2.ed. New York: J. Wiley, 414p.
- Beltrão, N.E.M. (1999) O agronegócio do algodão no Brasil. Brasília-DF: Empresa de Comunicação para Transferência de Tecnologia, 67 p.
- Bonato, C.M, Filho, C.J.R., Melges, E., Santos, V.D. dos (1998) Nutrição Mineral de Plantas. UEM - Universidade Estadual de Maringá. Maringá (PR). 60p.
- Bonomo, P. Cruz, C.D., Viana, J.M.S., Pereira, A.A, Oliveira, V.R. de, Carneiro, P.C.S. (2004) Avaliação de progênies obtidas de cruzamentos de descendentes do híbrido de Timor com as cultivares Catuaí Vermelho e Catuaí Amarelo. *Bragantia*, 63:207-219.
- Bourdeau, P.F. (1958) Photosynthetic and respiratory rates in leaves of male and female quaking aspens. *For. Sci.* 4:331--334.
- Borém, A.(2001) *Melhoramento de Plantas*. Viçosa : UFV.500p.

- Blair, G. (1993). Nutrient efficiency – what do we really mean In: Randall, P. J.; Delhaitze, E.; Richards, R. A., Munns, R. ed. *Genetic aspects of plants mineral nutrition*. Dondrecht: Klumer Academic. p.205-213. (Developments in Plant and Soil Sciences, 50).
- BRASIL, 2013. Disponível em <<http://www.brasil.gov.br>> Acesso em 31 de janeiro, de 2013.
- Cardoso, P.M.R. (2010) *Análise biométrica da eficiência nutricional para nitrogênio em café (Coffea arabica L.)*. Dissertação de mestrado em Genética e melhoramento de plantas – Universidade Estadual do Norte fluminense-Darcy Ribeiro- UENF, Campos dos Goytacazes-RJ, 88p.
- Carvalho, A., Medina Filho, H.P., Fazuoli, L.C., Guerreiro Filho, o., Lima, M.M.A., (1991) Aspectos geneticos do cafeeiro. *Revista Brasileira de Genética*, 14 (1):135-183.
- Carvalho, C.H.S. (2008) *Cultivares de café: origem, caracterísiticas e recomendações*. 1. ed. Brasília: Embrapa Café, 334p.
- Clarindo, W.R, Carvalho, C.R.(2008) First *coffea arabica* karyogram showing that this species is a true allotetraploid. *Plant Systematics and Evolution*, 274:237-241.
- Clark, R.B., Duncan, R.R. (1991) Improvement of plant mineral nutrition through beeding. *Fiel. Crops Resourch*, 27:219 - 240.
- CIAT (1978) Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT. Programa de fríjol. Inf. Anual Cali, Colômbia, 12-13.
- CONAB (2013) Companhia Nacional de Abastecimento. Indicadores. Disponível em > <http://www.conab.gov.br/>> Acesso em 02 de março, de 2013.
- Cruz, C.D. (2006). Programa Genes: Versão Windows; aplicativo computacional em genética e estatística. 2. ed. UFV: Imprensa Universitária, 648p.
- DNPM, 2012. Disponivel em > <http://www.dnpm.gov.br/>> Acesso em 02 de março, de 2012.
- EMBRAPA, 2013. Disponível em <<http://www.sapc.embrapa.br/>> acesso 25/01/13.
- Epstein, E., Bloom, A.J. (2006) A. *Nutrição mineral de plantas; princípios e perspectivas*, 2.ed. Londrina: Editora Planta. 403p.
- Ernani, P.R., Almeida, J.A., Santos, F.C. (2007) Potássio. In: *Fertilidade do Solo*. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, 1017p.
- Fageria, N.K., Wright, R.J., Baligar, V.C.(1988) Rice cultivars response to aluminum in nutrient solution. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, 19:1133-1142.

- Fageria, N.K. (1989) *Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas*. Brasília: Embrapa-DPU. 425p. (Embrapa-CNPAP. Documentos, 18).
- Fageria, N.K., Baligar, V.C. (1993) Screening crop genotypes for mineral stresses. In: Workshop on Adaptation of Plants to Soil Stresses. Lincoln. Proceedings... Lincoln: University of Nebraska, p.142-159.
- Fageria, N.K. (1998) Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2 (1):6-16.
- FAO, 2013. FAOSTAT Database Query. Disponível em <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em 02 de março, de 2013.
- Fazuoli, L.C.(2004) Melhoramento Genético do Cafeeiro *In: x reunião itinerante de fitossanidade do Instituto biológico – café*. MOCOCA, SP, 175p.
- Fazuoli, L.C. *Avaliação de progênies de café Mundo Novo (Coffea arabica L.)*. (1977). Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Favarin, J.L., Dourado Neto, D.; García Y García, A., Villa Nova, N.A., Favarin, M. da G.G.V. (2002) Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37:769-773.
- Ferrari, R.B., Tomaz, M.A., Sakiyama, N.S., Da Matta, F.M., Cruz, C.D., Martinez, H.E.P., Zambolim, L., Rodrigues, J.C. (2001) Comparação do estado Nutricional de cafeeiros enxertados e não-enxertados em condições de campo. In: CD-ROM do *II Simpósio de pesquisas dos cafés do Brasil*, Vitória-ES, 59-65.
- Ferreira, D.A., Carvalho, A.M. de, Mendes, A.N.G., Carvalho, G.R.; Botelho, C.E., Carvalho, J.G. (2010) Absorção, Translocação e Eficiência no Uso dos Macronutrientes em Cafeeiros (*Coffea arabica* L.) Enxertados em Apoatã IAC 2258 (*Coffea canephora*). *Interciencia*, Caracas, Venezuela, 35 (11):818-822.
- Freitas, Z.M.T.S. de, Oliveira, F.J. de, Carvalho, S.P. de, Santos, V.F.dos, Santos, J.P. de O. (2007) Avaliação de caracteres quantitativos relacionados com o crescimento vegetativo entre cultivares de café arábica de porte baixo *Bragantia*, Campinas, 66 (2):267-275.
- Fox, R.H. (1978) Selection for phosphorus efficiency in corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 9:13-37.
- Furlani, P.R., Lima, M., Miranda, L.T., Miranda, L.E.C., Sawazaki, E., Magnavaca, R.(1986) Avaliação de linhagens materiais comerciais e duas populações de milho para tolerância a alumínio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 21:655-660.
- Furtini Neto, A.E. (1994). *Eficiência nutricional, cinética de absorção e frações fosfatadas em Eucalyptus spp*. 99f.

- Gabelman, W.H. e Gerloff, G.C. (1983) The search for and interpretation of genetic controls that enhance plant growth under deficiency levels of a macronutrient. *Plant Soil*, 72:335-350.
- Graham, R. D. (1984) Breeding for nutritional characteristics in cereals. In: Tinker, P. B.; Lauchli, A. *Advances in Plant Nutrition*. New York, Praeger, p.57-102.
- Gouveia, N.M. (1984) *Estudo da diferenciação e crescimento das gemas florais de Coffea arabica L.: observações sobre antese e maturação dos frutos*. Dissertação (Mestrado em Biologia) – Instituto de Biologia, UNICAMP, Campinas, 237p.
- Guimarães, P.T.G., Reis, T.H.P. (2010) Nutrição e Adubação do cafeeiro. In: *Café Arábica do plantio à colheita*, Lavras: U.R. EPAMIG SM, 896p
- Gomes, J.M., Paiva, H.P. (2004) Viveiros Florestais (propagação sexuada). Viçosa: UFV, 116p. (Caderno didático 72).
- Hallmark, W. B. e Barber, S. A. (1981) Root growth and morphology, nutrient uptake, and nutrient status of soybean as affected by soil K and bulk density. *Agron. J.*, 73:779-782.
- IBRAM- (2012) *Informações e análises da economia mineral Brasileira*. 7ª edição organizado pelo Instituto Brasileiro de Mineração.
- Krug, CA. (1939). Genética de Coffea. Parte 1- Hereditariedade de um tipo anão-nana. Campinas, *Instituto Agrônomo*. 13p. (Boletim técnico, 47).
- Lashermes, P., Combes, M.C., Robert, J., Trouslot, P., D'hont, A., Anthny, F., Charrier, A. (1999). Molecular characterisation and origin of the *Coffea arabica* L. Genome. *Mol. Gen. Genet.* 261:259-266.
- Läuchli, A., Pflüger, R (1978). Potassium transport through plant cell membranes and metabolic role of potassium in plants. In: *International Potash Institute. Potassium research: review and trends*. Bern. p.111-163.
- Larcher, W. (2000) *Ecofisiologia vegetal*. São Paulo: Rima Artes e Textos, 531p.
- Laviola, B.G., Martinez, H.E.P., Souza, R.B. de, Salomão, L.C.C., Cruz, C.D.,(2007) Acúmulo de Macronutrientes em frutos de cafeeiro em Viçosa-MG. CD-ROM dos *Anais do Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, 5, Águas de Lindóia, SP. Brasília, D.F.: Embrapa - Café.
- Laviola, B.G., Martinez, H.E.P., Souza, R.B. de, Venegas, V.H.A. (2006) Dinâmica de N e K em Folhas, Flores e Frutos de Cafeeiro Arábico em Três Níveis de Adubação. *Bioscience Journal*, Uberlândia, 22 (3):33-47.
- Li, B., Mckeand, S.E., Allen, H.L. (1991) Geneetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. *Forest Science*, 37.(2):613-626.

- Lima, A.M.N., Neves, J.C.L., Silva, I.R., Leite, F.P.(2005) Cinética de Absorção e Eficiência Nutricional de K^+ , Ca^{2+} E Mg^{2+} em Plantas Jovens de Quatro Clones de Eucalipto. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 29:903-909.
- Malavolta, E. (2006). *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres. 638p.
- Malavolta, E. (2004) Potássio – absorção, transporte e redistribuição na planta. *Informações Agronômicas*, 108:16 p. (POTAFOS. Encarte Técnico).
- Malavolta, E., Vitti, G.C., Oliveira, S.A. (1997). *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: POTAFOS. 319p.
- Matiello, J.B. et al.(2010) *Cultura de Café no Brasil: manual de recomendações*. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFE, 542 p.
- MAPA (2013) Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Produção de grãos. Brasília. Disponível em: <http://www.agricultua.gov.br/>. Acesso em: 29/11/2012.
- Marenco, R.A., Lopes, N.F. (2005) *Fisiologia Vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral*, Editora UFV. Viçosa, MG. 451p.
- Marschner, H. (1986) *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press, 647p.
- Marschner, H. (1995) *Mineral nutrition of higher plants*. 2. ed. New York: *Academic Press*, 889p.
- Martinati, J. de C., Molina, J.V.D., Bonturi, N., Martarello, F.H.H. Guerreiro Filho, O., Maluf, M.P. (2009) Expressão de genes relacionados ao metabolismo de nitrogênio, fósforo e potássio em cafeeiros submetidos ao estresse biótico. In: CD-ROM do *VI Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, Consórcio Brasileiro de Pesquisas e Desenvolvimento do Café. Vitória-ES 6p.
- Martin, P. (1989) Long-distance transport and distribution of potassium in crop plants. In: International Potash Institute. *Methods of K-research in plants. Proceedings of the 21st Colloquium, Louvain-la-Neuve*. Bern, p.83-100.
- Martins, D.S., Costa, A.F.S. (2003) *A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção*. Vitória, ES. INCAPER, 497p.
- Matiello, J.B. et al. (2010) *Cultura de Café no Brasil: manual de recomendações*. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFE, 542 p.
- Melamed, R., Gaspar, J.C., Miekeley, N.(2009) Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais. In: Lapidoloureiro, F. E. V.; Melamed, R.; Figueiredo Neto, J. (Ed.) *Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. p. 385-395.

- Mitchell, W.H., Tell, M.R. (1977) Winter-annual cover crops for no tillage corn production. *Agronomy Journal*, 69:569-573.
- Moura, W.M., Lima, P.C., Martinez, H.E.P., Paixão, G.P., Sano, P.M., Condé, A.B.T.; Pertel, J. (2007) Avaliação de cultivares de café em solução nutritiva com diferentes níveis de nitrogênio e potássio. CD-ROM dos *Anais do Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, 5, Águas de Lindóia, SP. Brasília, D.F.: Embrapa - Café, 2007, 4p.
- Neves, Y.P., Martinez, H.E.P., Souza, R.B., Amaral, J.F.T. (2005) Eficiência de produção de raízes e eficiência de uso na parte aérea de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu e Zn por quatro cultivares de cafeeiro arábica. CD-ROM dos *Anais do Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, 4, Londrina, PR. Brasília, D.F.: Embrapa – Café, 5p.
- Nogueira, F.D., Silva, E.B., Guimarães, P.T.G. (2001) Adubação potássica do cafeeiro: sulfato de potássio. Lavras. MG: *SOPIB*, 81p.
- Pereira, J.B.D. (1999) *Eficiência nutricional de nitrogênio e de potássio em plantas de café (Coffea arabica L.)*. Tese (doutorado) – Viçosa-MG – Universidade Federal de Viçosa - UFV, 99p.
- Pezzopane, J.R. M., Júnior, M.J.P., Gallo, P.B.; Carmargo M.B.P. DE; Fazuoli, L.C. (2007) Avaliações fenológicas e agronômicas em café arábica cultivado a pleno sol e consorciado com banana 'prata anã'. *Bragantia*, Campinas, 66 (4):701-709.
- Pinto-Maglio, C.A.F. (2006) Cytogenetics of coffee. *Braz. J. Plant Physiol.*, 18(1):37-44.
- Rodríguez-Navarro, A., Rubio, F. (2006) High-affinity potassium and sodium transport systems in plants. *Journal of Experimental Botany*. 57:1149–1160.
- Raina, S.N., Mukai, Y., Yamamoto, M., (1998) In situ identifies the diploid progenitor species of *Coffea arabica* (Rubiaceae). *Theor Appl Genet.*, 97:1204-1209.
- Resende, A.V. de, Martins, É. de S., Oliveira, C.G. de, Sena, M.C. de, Machado, C.T.T., Kinpara, D. ., Oliveira Filho, E.C. de. (2006) Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas "in natura" na agricultura brasileira. *Espaço & Geografia*, 9 (1):19:42.
- Rigas, S., Debrosses, G., Haralampidis, K., Agulho, F.V., Feldmann, K.A., Grabov, A., Dolan, L., Hatzopoulos, P.(2001) *TRH1* encodes a potassium transporter required for tip growth in Arabidopsis root hairs. *The Plant Cell*, 13:139-151.
- Rozane, D.E., Prado, R.M., Franco, C.F., Natale, W. (2007) Eficiência de absorção, transporte e utilização de macronutrientes por porta-enxertos de caramboleira, cultivados em soluções nutritivas. *Ciência e agrotecnologia.*, Lavras, 31 (4):1020-1026.

- Sakiyama, N. S., Pereira, A. A., Oliveira, A. C. B., Tomaz, M. A., (2008) Avanços no melhoramento genético do café arábica. *In: Tomaz, M. A, Amaral, J. F. T. do, Jesus Junior, W. C., Pezzopane, J. R. M., (Ed) Seminário para a sustentabilidade da Cafeicultura. Alegre, ES: UFES, Centro de Ciências Agrárias, 342p.*
- Sera, T (2005) Novas cultivares de café do IAPAR em preparação para lançamentos nos próximos anos. Londrina, PR, 2p.
- Siddiqi, M.Y., Glass, A.D.M. (1981) Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 4:289-302.
- Silva, I.R., Furtini Neto, A.E., Vale F.R. et al.(1996) Eficiência Nutricional para Potássio em espécies florestais nativas. *Revista Brasileira de Ciencia de Solo*. 20:257-264.
- Scott, A.J., Knott, M.A (1974) Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics*, Washington, 30:507-512.
- Sembiring, H., Raun, W.N., Johnson, G.V. (1998) Nitrogen accumulation efficiency: relationship between excess fertilizer and soil-plant biological activity in winter wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 21 (6):1235-1252.
- Sera, T (2005) *Novas cultivares de café do IAPAR em preparação para lançamentos nos próximos anos*. Londrina, PR, 2p.
- Swiader, J.M., Chyan, Y., Freiji, F.G. (1994) Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. *Journal of Plant Nutrition*, 17 (10):1687 – 1699.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2008) *Fisiologia Vegetal*. 4ed. Porto Alegre: Editora
- Tomaz, M.A., Amaral, J.F.T. do (2008) Eficiência Nutricional em Plantas. *In: Polanczyk, R. A. et al. 1. ed Estudos Avançados em Produção Vegetal. Alegre, ES: UFES, Centro de Ciências Agrária, 1:300p.*
- Tomaz, M.A., Martinez, H.E.P., Cruz, C.D., Ferrari, R.B., Zambolim, L., Sakiyama, N.S. (2008) Diferenças genéticas na eficiência de absorção, na translocação e na utilização de K, Ca e Mg em mudas enxertadas de cafeeiro. *Ciência Rural*, Santa Maria, 38(6):1540-1546.
- Tomaz M.A., Sakiyama N.S., Martinez H.E.P, Cruz C.D., Pereira A.A., Freitas R.S. de (2005) Porta-enxertos afetando o desenvolvimento de plantas de *Coffea arabica L.* *Ciência Rural*, 3:124-132.
- Tomaz, M.A, Souza, C.M. de, Sakiyama, N.S (2001) Avaliação do sistema radicular em mudas. *In: II Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Consórcio Brasileiro de Pesquisas e Desenvolvimento do Café. Vitória-ES, p. 87.*

- Vance, C. P. (2001) Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition: plant nutrition in a world of declining renewable resources. *Plant Physiology*, Minneapolis, 127 (2):390-397.
- Vose, P.B. (1987) Genetical aspects of mineral nutrition – progress to date. In: Gabelman, H.W.; Louhman (Eds.). *Genetic aspects of plant mineral nutrition*. Boston: Lancaster, p.3-13.
- Zhang Z, Tian X, Duan L, Wang B, He Z, Li Z (2007) Differential responses of conventional and Bt-transgenic cotton to potassium deficiency. *J Plant Nutr* 30:659–670.

3.2. ANÁLISE BIOMÉTRICA DE CARACTERÍSTICAS DE IMPORTÂNCIA ECONÔMICA EM *Coffea arabica* L, CULTIVADAS EM BAIXA DISPONIBILIDADE DE POTÁSSIO.

3.2.1. RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estimar os parâmetros genéticos e as correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais, entre as características morfoagronômicas e os índices de eficiência nutricional de potássio para 20 cultivares de café arábica cultivadas em solução nutritiva com nível baixo de potássio (1,5 mmol/L), visando, assim gerar conhecimentos que irão proporcionar subsídios para a identificação de estratégias adequadas para impulsionar o melhoramento genético dessa cultura. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados com três repetições. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso com duas plantas, contendo 8 litros de solução nutritiva. Foram avaliadas as seguintes características: altura de planta, número de folhas, número de nós, comprimento de internódio, diâmetro de caule, área foliar, eficiência de enraizamento, eficiência de absorção de potássio, eficiência de translocação de potássio, eficiência de produção de biomassa, eficiência de utilização de potássio. Constatou-se variabilidade genética entre as cultivares de café, para todas as características avaliadas. As características altura de planta, comprimento de internódio, diâmetro de caule, área foliar, eficiência de produção de biomassa e a eficiência

de utilização de potássio, apresentaram altos valores de H^2 e I_v superiores à unidade, permitindo selecionar plantas de café arábica, com base no fenótipo. As estimativas das correlações genótípicas apresentaram maior magnitude em relação às fenotípicas, indicando maior influência do genótipo sobre os efeitos ambientais e grandes possibilidades de ganhos genéticos com a seleção. A área foliar e o diâmetro de caule apresentam correlações genéticas significativas e positivas com as eficiências de enraizamento, de produção de biomassa e de utilização de potássio. A característica diâmetro de caule de fácil mensuração apresenta grande potencial para uso nos programas de melhoramento genético visando à seleção indireta de cultivares mais eficientes para potássio em ambientes com baixo nível desse nutriente.

3.2.1. ABSTRACT

The aim of this study was to estimate genetic parameters and phenotypic, genotypic, environmental and agronomic characteristics and indices of nutritional efficiency of potassium to 20 *arabica coffee* cultivars grown in nutrient solution with low potassium (1.5 mmol / L), to thus generate knowledge that will provide subsidies for identifying appropriate strategies to boost genetic improvement of this crop. We used a randomized block design with three replications. Each experimental unit consisted of one pot with two plants, containing 8 liters of nutrient solution. We evaluated the following characteristics: plant height, number of leaves, number of nodes, internodal length, stem diameter, leaf area, rooting efficiency, absorption efficiency of potassium, potassium translocation efficiency, efficiency of biomass production, potassium utilization efficiency. Genetic variability was found between coffee cultivars for all traits. Features plant height, internodal length, stem diameter, leaf area, biomass production efficiency and utilization efficiency of potassium, showed high levels of H^2 and I_v upper unit, allowing you to select *arabica coffee* plants, based on phenotype. Estimates of genotypic correlations showed greater magnitude in relation to phenotype, indicating greater influence of genotype on the environmental effects and great potential for genetic gains with selection. The leaf area and stem diameter have

significant and positive genetic correlations with the efficiencies of rooting, biomass production and utilization of potassium. The characteristic stem diameter of easy measurement shows great potential for use in breeding programs aimed at indirect selection of cultivars with more efficient potassium in environments with low levels of this nutrient.

3.2.3. INTRODUÇÃO

As estimativas de parâmetros genéticos permitem maior conhecimento da estrutura genética da população, sendo essenciais para prever os ganhos genéticos e o possível sucesso com a seleção. Os parâmetros de maior importância são as variâncias genotípicas, as correlações e a herdabilidade (Cruz et al., 2004).

Um parâmetro de grande utilidade em programa de melhoramento é a estimativa do coeficiente de determinação genotípica (H^2), que substitui a herdabilidade quando é considerado efeito fixo de genótipos, já que não existe propriamente variância genética, apenas a variabilidade genotípica ($\hat{\Phi}_G$). A variabilidade genética é constituída pelas diferenças genéticas entre os indivíduos de uma população conhecida (Cruz et al., 2004). A herdabilidade, assim como o coeficiente de determinação genotípica, tem como principal função no estudo genético da característica, o seu papel preditivo, expressando a confiabilidade do valor fenotípico como estimador do valor genotípico de modo que, quanto maior a herdabilidade maior o ganho genético por seleção (Falconer, 1987).

O índice de variação (I_v) também tem relevante função para o melhoramento, pois tem como finalidade indicar se os genótipos avaliados são favoráveis à seleção. Este parâmetro também pode ser usado na comparação da variabilidade genética. Quando a estimativa I_v atinge valor igual ou superior à unidade na experimentação, indica uma situação mais favorável para a seleção (Vencovsky e Barriga, 1992).

O conhecimento da associação entre as características é de relevante importância no processo seletivo, principalmente, se uma característica apresenta dificuldade de seleção, em razão de baixa herdabilidade, ou por apresentar

problemas e identificação e, ou medição (Cruz et al., 2004). Permite, assim, efetuar seleção indireta das características com base em outras de mais fácil avaliação e de alta herdabilidade, promovendo maiores progressos genéticos com economia de tempo, mão de obra e recursos (Ferrão, 2004).

A correlação fenotípica é influenciada tanto por causa genética quanto por agentes ambientais (Cruz et al., 2004). A causa de correlação genética é, principalmente, a pleiotropia. Quando duas características apresentam correlações genéticas favoráveis, é possível obter ganho para uma delas por meio da seleção indireta na outra característica associada, em alguns casos podendo levar a progressos mais rápidos do que a seleção direta da característica desejada (Cruz et al., 2004).

Quando se estima os parâmetros genéticos, deve-se considerar que as estimativas obtidas são válidas apenas para a população da qual o material experimental constitui amostra e para as condições de ambiente em que o experimento foi conduzido (Silva, 2006).

O objetivo deste trabalho foi estimar parâmetros genéticos e correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais, entre características morfoagronômicas e os índices de eficiência nutricional para potássio de 20 cultivares de café arábica cultivadas em solução nutritiva com nível baixo de potássio (1,5 mmol/L), visando, assim gerar conhecimentos que irão proporcionar subsídios para a identificação de estratégias adequadas para impulsionar o melhoramento genético dessa cultura.

3.2.4. MATERIAIS E METODOS

Condução do experimento

O experimento foi conduzido pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/Unidade Regional Zona da Mata (EPAMIG/UREZM), no período de 2004 a 2005, em casa de vegetação no Departamento de Fitotecnia (DFT) da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, em solução nutritiva estática aerada.

O experimento foi instalado seguindo a um delineamento de blocos ao acaso, com três repetições. Foram avaliadas vinte cultivares de café com duas plantas por parcela, com dose baixa de potássio (1,5 mmol/L).

Os materiais genéticos utilizados no estudo, genealogia e porte da planta encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Relação das cultivares de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) avaliadas no experimento.

Cultivares	Genealogia	Porte
1-Catuaí Amarelo IAC 62	Caturra Amarelo IAC 476-11 x Mundo Novo IAC 374-19	Baixo
2-Paraíso MG H 419-1	Catuaí Amarelo IAC 30 x Híbrido de Timor UFV 445-46	Baixo
3-Icatu Vermelho IAC 4045	(<i>Coffea canephora</i> x Bourbon Vermelho) x Mundo Novo	Alto
4-Obatã IAC 1669/20	(Villa Sarchi x Híbrido de Timor) x Catuaí	Baixo
5-Caturra Amarelo	Mutação do Caturra Vermelho	Baixo
6-IPR 102	Icatu x Catuaí	Baixo
7-Catuaí Vermelho IAC 15	Caturra Amarelo IAC 476-11 x Mundo Novo	Baixo
8-Rubi MG 1192	Catuaí x Mundo Novo	Baixo
9-IPR 103	Icatu x Catuaí	Baixo
10-Araponga MG1	Catuaí Amarelo IAC 86 x Híbrido de Timor UFV 446-08	Baixo
11-Topázio MG 1190	Catuaí Amarelo x Mundo Novo	Baixo
12-San Ramon	---	Baixo
13-Icatu Precoce 3282	Icatu Vermelho x Bourbon Amarelo	Alto
14-Tupi IAC 1669-33	Villa Sarchi x Híbrido de Timor	Baixo
15-Catuaí 785/15	Icatu Vermelho x Catuaí Vermelho	Baixo
16-Acaiá Cerrado MG 1474	Seleção de Mundo Novo	Alto
17-Oeiras MG 6851	Híbrido CIFC HW 26/5 (Caturra Vermelho x Híbrido de Timor)	Baixo
18-São Bernardo	---	Baixo
19-Pau Brasil MG1	Catuaí Vermelho IAC 141 x Híbrido de Timor UFV 442/34	Baixo
20-Caturra Vermelho	Mutação de Bourbon Vermelho	Baixo

O semeio das 20 cultivares de café foi realizado em bandejas plásticas com dimensões 25cm x 35cm perfuradas no fundo com broca 4mm para drenar o excesso de água, contendo areia previamente tratada com HCl 0,1 N, durante 24 horas e posteriormente lavada com água deionizada. Foram semeadas 65 sementes sem pergaminho para cada cultivar. Realizaram-se irrigações semanais até que as plântulas atingissem a fase de “orelha de onça”, quando foram transplantadas para os baldes plásticos (duas plantas / balde) contendo 8,0 litros

da solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) modificada (Tabelas 2 e 3, Trabalho 3.1). A oxigenação da solução nutritiva foi efetuada por compressor Schultz e distribuída pelas bancadas por uma rede de canos pvc de 20 mm.

Durante todo o período de condução do experimento os volumes das soluções de cada balde foram completados com água desionizada até o volume de 8,0 L. O pH foi ajustado semanalmente com HCl (1,0N) e NaOH (1,0N) entre 5,5 e 6,5 e a troca das soluções foi realizada com base no monitoramento da condutividade elétrica (CE), quando a depleção da mesma atingiu 30% da CE inicial. Realizaram-se duas trocas de solução nutritiva.

Avaliaram-se as características utilizando a média das duas plantas da parcela: altura da planta (AP): medida em metro, da base do ramo ortotrópico ao ápice da planta, número de folhas (NF): obtido pela contagem em toda planta, número de nós (NNO): obtido pela contagem visual no ramo ortotrópico, diâmetro do caule (DC): medido em milímetro, com uso de paquímetro, efetuado na base do ramo ortotrópico, comprimento de internódio (CI): Calculado a partir da altura da planta/número de nós e área foliar (AF) que foi quantificada a partir do número de folhas totais em medidor de área foliar modelo AT Delta-T Devices.

Após a coleta das plantas o material vegetal foi separado em raiz, caule, folhas, foram submetidos à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 70°C, por 72 horas, pesados, obtendo-se assim as seguintes características: matéria seca de raiz (MSR), matéria seca de Caule (MSC), matéria seca de folha, matéria seca de parte aérea (somatório da MSC e MSF) e matéria seca total (somatório das MSPA e MSR). O material vegetal seco foi moído em moinho Willey, com peneira número 20, uma amostra foi retirada e enviada ao laboratório de análise foliar da Universidade Federal de Viçosa (UFV) para determinação dos teores de macro e micronutrientes. Os teores de N, P, K, Ca, Mg, Zn e Cu, foram submetidos à digestão sulfúrica (Johnson, 1959). A partir do conhecimento dos teores de K nas diversas partes da planta, foram obtidos os conteúdos de K pelo produto entre os teores e a produção de matéria seca de cada segmento da planta.

De acordo com os dados de matéria seca e de teor (K), foram estimados os índices de eficiência nutricional, conforme as relações apresentadas a seguir, de acordo com Siddiqi e Glass, (1981) e Bailian et al. (1991): a) Eficiência de enraizamento com relação ao conteúdo de potássio total (EECT) = (g de matéria

seca de raiz)² / mg de K total na planta; b) Eficiência de absorção de potássio total (EAKT) = mg de K total na planta / g matéria seca de raiz; c) Eficiência de translocação de potássio (ETK) = mg de K na parte aérea / mg K total na planta; d) Eficiência de produção de biomassa (EPB) = (g de matéria seca de parte aérea)² / mg de K na parte aérea; e) Eficiência de utilização de potássio (EUK) = (g matéria seca total)² / mg de K total na planta.

Parâmetros genéticos

Para melhor conhecimento da estrutura genética das cultivares estudadas na dose baixa de K (1,5 mmol.L⁻¹), inicialmente, realizou-se a ANOVA, utilizando-se o programa GENES (Cruz, 2009), de cada característica avaliada, adotando-se o modelo estatístico a seguir:

$$Y_{ij} = \mu + B_j + G_i + E_{ij}$$

em que:

Y_{ij} = valor observado do i-ésimo genótipo na -ésima repetição;

μ = média geral do experimento;

B_j = efeito do bloco;

G_i = efeito fixo atribuído ao i-ésimo genótipo e

E_{ij} = efeito do erro experimental.

O esquema da ANOVA, em relação às características avaliadas, encontra-se no Quadro 1.

Quadro 1 – Esquema da Análise de Variância

FV	GL	QM	E(QM)	F
Bloco	$(b - 1)$			
Genótipo (G)	$(g - 1)$	QMG	$\sigma^2 + r\Phi_g$	QMG/QMR
Resíduo	$(b - 1)(g - 1)$	QMR	σ^2	
Total	$(bg - 1)$			

$$\Phi_g = \sum_{i=1}^g G_i^2 / (g - 1)$$

Adicionalmente à análise de variância, estimaram-se, para cada característica, os seguintes parâmetros genéticos:

Variância Fenotípica:

Representada pela razão entre o quadrado médio do genótipo (QMG) e o número de repetições (b), ou seja:

$$\hat{\sigma}_f^2 = QMG/b$$

a) Variância de Ambiente:

É o próprio quadrado médio do resíduo (QMR), ou seja:

$$\hat{\sigma}_A^2 = QMR$$

b) Variabilidade Genotípica:

$$\hat{\Phi}_G = \frac{QMG - QMR}{b}$$

c) Coeficiente de Determinação Genotípica:

Expresso pela razão entre os estimadores da variabilidade genotípica ($\hat{\Phi}_G$)

e de variância fenotípica ($\hat{\sigma}_f^2$), isto é:

$$\hat{H}^2 = \hat{\Phi}_G / \hat{\sigma}_f^2$$

d) Coeficiente de Variação Genotípica:

$$CV_G = \frac{100\sqrt{\hat{\Phi}_G}}{\hat{m}}$$

e) Índice de Variação: É a relação entre o Coeficiente de Variação Genotípica (CV_G) e o Coeficiente de Variação Experimental (CV_e), ou seja:

$$I_V = CV_G / CV_e = \sqrt{\hat{\Phi}_G / QMR}$$

Correlações entre as Características

As correlações fenotípica, genotípica e ambiental entre as características avaliadas no experimento com as 20 cultivares de café arábica, foram estimadas através dos produtos médios entre as várias características analisadas utilizando o método relatado por Kempthorne (1966). A partir destas análises, serão obtidas as estimativas da covariância genotípica, fenotípica e ambiental entre as

características dois a dois e, finalmente, os coeficientes de correlação como segue:

Coeficiente de correlação genotípica (r_g)

$$r_g = \frac{C\hat{v}_g(X, Y)}{\sqrt{\hat{\sigma}_g^2(X) \cdot \hat{\sigma}_g^2(Y)}}$$

Coeficiente de correlação fenotípica (r_f)

$$r_f = \frac{C\hat{v}_f(X, Y)}{\sqrt{\hat{\sigma}_f^2(X) \cdot \hat{\sigma}_f^2(Y)}}$$

Coeficiente de correlação ambiental (r_a)

$$r_a = \frac{C\hat{v}_a(X, Y)}{\sqrt{\hat{\sigma}^2(X) \cdot \hat{\sigma}^2(Y)}}$$

em que:

$C\hat{v}_g(X, Y)$, $C\hat{v}_f(X, Y)$ e $C\hat{v}_a(X, Y)$ = Estimadores da covariância genotípica, fenotípica e ambiental, respectivamente, entre duas características X e Y;

$\hat{\sigma}_g^2(X)$, $\hat{\sigma}_f^2(X)$ e $\hat{\sigma}^2(X)$ = Estimadores da variância genotípica, fenotípica e ambiental, respectivamente, da característica X; e

$\hat{\sigma}_g^2(Y)$, $\hat{\sigma}_f^2(Y)$ e $\hat{\sigma}^2(Y)$ = Estimadores da variância genotípica, fenotípica e ambiental, respectivamente, da característica Y.

3.2.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância apresentou diferenças significativas, pelo teste F, para todas as características avaliadas em nível de 1% de probabilidade, indicando que há variabilidade genética entre os genótipos para as diferentes características avaliadas (Tabela 2). A estimativa de um parâmetro genético pode ser variável, uma vez que não depende só da variabilidade genética existente na população, mas também das condições ambientais (Falconer e Mackay, 1996).

A precisão experimental, avaliada estatisticamente por meio do coeficiente de variação experimental (CVe), apresentou valores de 3,74 a 27,36%, sendo estes limites correspondentes à eficiência de translocação de potássio (ETK) e eficiência de enraizamento (EE), respectivamente (Tabela 2), indicando precisão na condução do experimento.

Tabela 2- Análise de variância de 11 características agrônômicas avaliadas para 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com dose baixa de potássio (K) $1,5 \text{ mmolL}^{-1}$.

FV	GL	Quadrado Médio					
		AP ^{1/}	NF ^{2/}	NNO ^{3/}	CI ^{4/}	DC ^{5/}	AF ^{6/}
Bloco	2	0,54	13,68	0,82	0,12	0,0011	45630,30
Genótipo	19	199,83**	63,69**	0,76**	1,14**	0,023**	214012,93**
Resíduo	38	9,32	13,92	0,31	0,04	0,003	35390,60
Média		43,04	35,28	11,93	3,61	0,57	1892,29
CV _e %		7,09	10,57	4,65	5,68	10,26	9,94

^{1/}Altura de planta, ^{2/}Número de folhas, ^{3/}Número de nós, ^{4/}Comprimento de internódio, ^{5/}Diâmetro de caule, ^{6/}Área foliar, ** Significativo, em nível de 1% de probabilidade pelo teste F

Tabela 2, Cont.

FV	GL	Quadrado Médio				
		EE ^{7/}	EA ^{8/}	ETK ^{9/}	EPB ^{10/}	EUK ^{11/}
Bloco	2	0,00133	275,12	0,0036	0,201	0,128
Genótipo	19	0,0093**	248,39**	0,0036**	0,411**	0,496**
Resíduo	38	0,0002	87,39	0,0009	0,076	0,094
Média		0,06	56,18	0,81	1,52	1,82
CV _e %		27,35	16,64	3,74	18,10	16,80

^{7/}Eficiência de enraizamento, ^{8/}Eficiência de absorção, ^{9/} Eficiência de translocação de potássio, ^{10/} Eficiência de produção de biomassa, ^{11/} Eficiência de utilização de potássio, ** Significativo, em nível de 1% de probabilidade pelo teste F

A variação fenotípica é resultado da ação conjunta do genótipo ($\hat{\Phi}_G$) e do ambiente. O conhecimento sobre a natureza e intensidade das variações de origem genética e ambiental é indispensável para que as ações de melhoramento sejam realizadas de forma mais eficiente (Dias et al., 2011). Observou-se que a variação ambiental nesse trabalho foi pequena, como pode ser visto nos baixos valores de ($\hat{\sigma}_A^2$) (Tabela 3). De acordo com Falconer (1987), a variância ambiental

engloba toda a variação de origem não genética, com isso ela nunca pode ser transmitida pela descendência, ela não é utilizada na seleção, portanto não promove o melhoramento genético.

Tabela 3 – Estimativas da variância fenotípica ($\hat{\sigma}_F^2$), da variabilidade genotípica ($\hat{\Phi}_G$), da variância ambiental ($\hat{\sigma}_A^2$), do coeficiente de determinação genotípico (H^2), do coeficiente de variação genético (\hat{CV}_g) e do índice de variação (\hat{I}_v), para 11 características avaliadas em 20 cultivares de cafeeiro arábica cultivadas em solução nutritiva com dose baixa de potássio

Ambiente com dose baixa de K (1,5 mmol/L)						
Características ^{1/}	$\hat{\sigma}_F^2$	$\hat{\Phi}_G$	$\hat{\sigma}_A^2$	H^2	\hat{CV}_g	\hat{I}_v
AP	66,61	63,50	3,11	95,33	18,51	2,61
NF	21,23	16,64	4,64	78,15	11,54	1,09
NNO	0,25	0,15	0,10	59,38	3,25	0,70
CI	0,38	0,37	0,014	96,33	16,79	2,96
DC	0,007	0,006	0,001	84,60	13,89	1,35
AF	71337,6	59540,8	11796,9	83,46	12,90	1,30
EE	0,0003	0,0002	0,00009	70,49	24,41	0,90
EA	82,68	53,55	29,13	64,77	13,03	0,78
ETK	0,001	0,0009	0,0003	74,55	3,70	0,99
EPB	0,13	0,11	0,03	81,62	22,02	1,22
EUK	0,17	0,13	0,03	81,02	20,05	1,19

Altura de Planta (AP), Número de Folha Total (NFT), Número de Nós (NNO), Comprimento de Internódio (CI), Diâmetro de Caule (DC), Área Foliar Total (AFT), Eficiência de enraizamento (EE), Eficiência de absorção (EA), Eficiência de translocação de potássio (ETK), Eficiência de produção de biomassa (EPB), Eficiência de utilização de potássio (EUK)

Em virtude dos altos valores para $\hat{\sigma}_F^2$ e baixos para $\hat{\sigma}_A^2$, era de se esperar altos valores para ($\hat{\Phi}_G$) (Tabela 3). Valores elevados para $\hat{\Phi}_G$ são indicativos de maior variabilidade genética, possibilitando a identificação de genótipos superiores, pois é utilizada para obtenção de outros parâmetros como a herdabilidade (Cruz e Carneiro, 2003). As estimativas dos componentes que expressam a variabilidade genética são muito importantes em um programa de melhoramento. Quanto maior suas magnitudes, mais heterogêneos são os genótipos (Ferrão et al., 2008).

De maneira geral, a magnitude do coeficiente de determinação genotípico (H^2) obtida para as características estudadas, variou de 59,38% para NNO a 96,33% para CI (Tabela 3). Mas, a maioria das características apresentou H^2 superior a 70%, atestando, assim, a predominância da variabilidade genotípica em relação à ambiental, indicando possibilidade de sucesso na seleção destas características. Isso é comprovado pela pequena contribuição da variação ambiental ($\hat{\sigma}_A^2$), para com a fenotípica ($\hat{\sigma}_F^2$) (Tabela 3).

Os maiores valores observados do coeficiente de determinação genotípico (H^2) foram para as características CI e AP, com 96% e 95,33%, respectivamente (Tabela 3). Os valores das variabilidades genotípicas foram muito altos em relação às variâncias ambientais, sugerindo que essas características foram fortemente influenciadas pelo genótipo e pouco influenciadas pela ambiente (Ramalho et al., 2004). Valores aproximados de H^2 para altura de planta foram constatados para café arábica (Freitas et al., 2009) e em *C. canephora* (Rodrigues et al., 2012; Ferrão et al., 2008). Já os menores valores do coeficiente de determinação genotípico (H^2) foram para as características NNO e EA, com 59,38 e 64,77, respectivamente (Tabela 3). Entretanto, ainda foram superiores aos coeficientes de determinação genotípicos considerados baixos, ou seja, inferiores a 30% e amplamente influenciados pelo ambiente (Ramalho et al., 2004).

O uso do coeficiente de variação genético (CVg) torna possível a comparação da variabilidade genética das diferentes características analisadas. Observa-se, na Tabela 3, que os valores obtidos variaram de 3,25 a 24,41; esse intervalo de valores, levando em consideração as demais características, evidencia variabilidade genética. O coeficiente de variação genético (CVg) foi superior ao ambiental (CVe) para a maioria das características, indicando a predominância dos componentes genéticos em relação aos ambientais, caracterizando assim, condições favoráveis ao melhoramento para as características avaliadas.

Os valores de índice de variação (Iv) foram superiores à unidade para as características AP, NF, CI, DC, AF, EPB, EUK e próximo à unidade para a característica ETK. Tais resultados indicam que o material genético utilizado seja apropriado para o melhoramento, confirmando a possibilidade de obtenção de ganhos genéticos (Tabela 3). Freitas et al. (2007) observaram resultado diferente

para o caráter altura de plantas e diâmetro de caule, onde o valor de I_v foi inferior à unidade, para altura de planta e diâmetro de caule, evidenciando condição desfavorável para seleção.

Considerando que os valores para o coeficiente de determinação genotípica (H^2) foram superiores a 80% e que as magnitudes também foram superiores à unidade para o índice de variação (I_v) para as características AP, CI, DC, AF EPB e EUK demonstram grandes possibilidades de ganhos genéticos, por apresentarem ampla variabilidade genotípica. De acordo com Cock et al. (2003), as estimativas dos parâmetros genéticos são muito importantes para identificação de características correlacionadas com a eficiência nutricional da planta no melhoramento genético para estresse nutricional, uma vez que facilitam a seleção do genótipo mais eficiente por meio de uma outra característica correlacionada com o coeficiente da eficiência nutricional.

Correlações Genéticas

As estimativas dos coeficientes de correlação genotípica, fenotípica e de ambiente são apresentadas na Tabela 4. Esses resultados revelam que houve concordância de sinais nas correlações fenotípicas e genotípicas. Quando tais coeficientes apresentam o mesmo sinal, as variações genéticas e ambientais sofrem influência dos mesmos mecanismos fisiológicos (Falconer, 1987).

Os estudos das correlações entre as características avaliadas mostraram superioridade das correlações genotípicas em relação às fenotípicas, o que favorece ao processo de seleção, uma vez que os efeitos genéticos se sobrepõem aos ambientais na manifestação do fenótipo. Ferrão (2004), avaliando 40 materiais genéticos do programa de melhoramento genético de café conilon do INCAPER-ES, com o objetivo de obter as estimativas de parâmetro genético incluindo as correlações genotípicas, fenotípicas e ambientais de 14 características, verificou resultado semelhante a esse trabalho, onde as correlações genotípicas também foram superiores às correlações fenotípicas. A correlação de ambiente, para a maioria dos pares de caracteres, foi reduzida, ou seja, menor que 0,5, constatando-se que houve maior contribuição dos fatores genéticos em relação aos ambientais nas correlações entre os caracteres.

Altura de planta (AP) apresentou correlação fenotípica e genotípica altas, positivas para com comprimento de internódio (CI) e significativas a 1%, com valores de $r_f = 0,97$ e $r_g = 0,99$, respectivamente. Esse resultado era esperado, uma vez que o CI foi estimado por meio da altura de planta. Não houve correlações genotípicas significativas entre AP e as demais características (Tabela 4).

A característica número de folha (NF) expressou correlação fenotípica e genotípica positivas e altamente significativas com o diâmetro de caule (DC), $r_f = 0,69$ e $r_g = 0,80$, assim, quanto maior o número de folhas, maior será o diâmetro do caule. Correlações semelhantes ocorreram entre número de folhas (NF) e as características área foliar (AF) $r_f = 0,70$ e $r_g = 0,70$, o que indica que quanto maior o número de folhas, maior a área foliar. Esses resultados são interessantes, uma vez que ao efetuar seleção para número de folhas, que é mais fácil de avaliar, resultará em uma seleção indireta para área foliar. Correlações positivas e de menores magnitudes foram encontradas entre o número de folhas (NF) e eficiência de produção de biomassa (EPB) $r_f = 0,62$ e $r_g = 0,67$ e eficiência de utilização de potássio (EUK) $r_f = 0,61$ e $r_g = 0,64$. Correlações genotípicas positivas altas e significativas entre pares de características sugerem que a seleção com objetivo de aumentar uma delas, poderá acarretar o mesmo efeito na outra (Tabela 4).

O número de nós (NNO) e o comprimento de internódio (CI), não se correlacionaram significativamente com nenhuma característica (Tabela 4).

O diâmetro de caule (DC) apresentou correlações fenotípicas e genotípicas positivas com 1% de significância com AF, $r_f = 0,62$ e $r_g = 0,67$. Esse resultado indica que selecionando para diâmetro de caule, selecionam-se indiretamente para maiores áreas foliares, com a possibilidade de obter maiores taxas fotossintéticas. Ocorreram também correlações positivas entre o DC e as características de eficiência nutricional, como EE, $r_f = 0,81$ e $r_g = 0,93$, EPB, $r_f = 0,91$ e $r_g = 0,99$, e EUK, $r_f = 0,91$ e $r_g = 0,98$, em nível de 1% de significância, onde maiores diâmetros de caule implicam em maiores eficiências de enraizamento, produção de biomassa e de utilização de potássio. A identificação da correlação entre características de fácil mensuração e as relacionadas às características morfoagronômicas, como diâmetro de caule e às eficiências nutricionais, pode ser de grande importância para auxiliar nos programas de

melhoramento, no intuito de facilitar e acelerar a seleção de plantas superiores. Neste sentido, sugere que a seleção de plantas de cafeeiro com maior diâmetro do caule pode resultar em plantas mais eficientes no enraizamento, na produção de biomassa e na utilização de potássio, em virtude da alta correlação genética entre essas características de 0,93; 0,91; 0,99, respectivamente. Levando-se em consideração que tais medidas foram feitas em mudas e o alto coeficiente de determinação genotípica ($H^2 = 84,60\%$), a característica diâmetro de caule, poderia, após estudos mais detalhados, ser utilizada para seleção precoce, visando plantas mais eficientes nutricionalmente para potássio.

Correlações fenotípicas e genotípicas negativas ocorreram entre DC e as características EA $r_f = -0,54$ e $r_g = -0,65$, e a ETK $r_f = -0,54$ e $r_g = -0,66$. Com o incremento no DC, há um decréscimo na eficiência de absorção e eficiência de translocação ou vice-versa, sugerindo que plantas com maiores DC comprometam as eficiências de absorção e translocação de potássio.

Tabela 4 – Coeficientes de correlações fenotípica (r_F), genotípica (r_G) e ambiental (r_A), avaliando 20 genótipos de café arábica, Campos dos Goytacazes, RJ. 2013.

Característica	r	NF	NNO	CI	DC	AF	EE	EA	ETK	EPB	EUK
AP	r_F	-0,23	0,41	0,97 ⁺⁺	-0,04	-0,14	0,004	-0,22	0,38	0,05	0,11
	r_G	-0,31	0,46	0,99 ⁺⁺	-0,06	-0,22	-0,03	-0,26	0,45	-0,01	0,05
	r_A	0,34	0,52	0,78 ⁺⁺	0,24	0,72 ⁺⁺	0,28 ⁺	-0,09	-0,02	0,60 ⁺⁺	0,61 ⁺⁺
NF	r_F	1	-0,10	-0,24	0,69 ⁺⁺	0,70 ⁺⁺	0,44 ⁺	-0,15	-0,25	0,62 ⁺⁺	0,61 ⁺⁺
	r_G	1	-0,14	-0,03	0,80 ⁺⁺	0,70 ⁺⁺	0,52 ⁺	-0,18	-0,44	0,67 ⁺⁺	0,64 ⁺
	r_A	1	0,01	0,30 ⁺	0,22	0,71 ⁺⁺	0,18	-0,04	0,36	0,42 ⁺⁺	0,47 ⁺⁺
NNO	r_F		1	0,21	-0,09	0,01	-0,007	0,03	0,23	-0,04	-0,001
	r_G		1	0,29	-0,17	-0,07	-0,08	0,004	0,39	-0,18	-0,13
	r_A		1	-0,09	0,10	0,23	0,12	0,07	-0,09	0,33 ⁺	0,31 ⁺
CI	r_F			1	-0,03	-0,15	0,01	-0,02	0,34	0,06	0,11
	r_G			1	-0,04	-0,22	-0,02	-0,29	0,41	0,03	0,09
	r_A			1	0,15	0,61 ⁺⁺	0,25	-0,15	-0,02	0,43 ⁺⁺	0,46 ⁺⁺
DC	r_F				1	0,62 ⁺⁺	0,81 ⁺⁺	-0,54 ⁺⁺	-0,54 ⁺⁺	0,91 ⁺⁺	0,91 ⁺⁺
	r_G				1	0,67 ⁺⁺	0,93 ⁺⁺	-0,65 ⁺⁺	-0,66 ⁺⁺	0,99 ⁺⁺	0,98 ⁺⁺
	r_A				1	0,34 ⁺	0,45 ⁺⁺	-0,26 ⁺⁺	-0,10	0,49 ⁺⁺	0,54 ⁺⁺
AF	r_F					1	0,49 ⁺	-0,24	-0,18	0,71 ⁺⁺	0,72 ⁺⁺
	r_G					1	0,58 ⁺	-0,30	-0,30	0,74 ⁺⁺	0,74 ⁺⁺
	r_A					1	0,19 ⁺⁺	-0,07	0,27	0,59 ⁺⁺	0,61 ⁺⁺

Altura de Planta (AP), Número de Folha (NF), Número de Nós (NNO), Comprimento de Internódio (CI), Diâmetro de Caule (DC), Área Foliar (AF), Eficiência de enraizamento (EE), Eficiência de absorção (EA), Eficiência de translocação de potássio (ETK), Eficiência de produção de biomassa (EPB), Eficiência de utilização de potássio (EUK).

⁺⁺, ⁺: significativo a 1 e 5 %, respectivamente, por *bootstrap* com 5000 simulações.

Tabela 4, Cont.

Característica	r	NF	NNO	CI	DC	AF	EE	EA	ETK	EPB	EUK
EE	r _F						1	-0,83 ⁺⁺	-0,80 ⁺⁺	0,85 ⁺⁺	0,86 ⁺⁺
	r _G						1	-0,87 ⁺⁺	-0,87 ⁺⁺	0,98 ⁺⁺	0,96 ⁺⁺
	r _A						1	-0,75 ⁺⁺	-0,64 ⁺⁺	0,44 ⁺⁺	0,57 ⁺⁺
EA	r _F							1	0,69 ⁺⁺	-0,60 ⁺⁺	-0,70 ⁺⁺
	r _G							1	0,71 ⁺	-0,71 ⁺	-0,72 ⁺
	r _A							1	0,66 ⁺⁺	-0,53 ⁺⁺	-0,60 ⁺⁺
ETK	r _F								1	-0,6 ⁺⁺	-0,5 ⁺⁺
	r _G								1	-0,67 ⁺	-0,63 ⁺
	r _A								1	-0,29 ⁺	-0,29 ⁺
EPB	r _F									1	0,99 ⁺⁺
	r _G									1	0,99 ⁺⁺
	r _A									1	0,98 ⁺⁺
EUK	r _F										1
	r _G										1
	r _A										1

Número de Folha (NF), Número de Nós (NNO), Comprimento de Internódio (CI), Diâmetro de Caule (DC), Área Foliar (AF), Eficiência de enraizamento (EE), Eficiência de absorção (EA), Eficiência de translocação de potássio (ETK), Eficiência de produção de biomassa (EPB), Eficiência de utilização de potássio (EUK).

⁺⁺, ⁺: significativo a 1 e 5 %, respectivamente, por *bootstrap* com 5000 simulações.

Correlações genotípicas e fenotípicas significativas foram verificadas entre área foliar (AF) e as características EE, EPB, EUK (Tabela 4). Desta forma, espera-se que cultivares com maiores áreas foliares, possam ser mais eficientes no enraizamento e na utilização do potássio para produzir maiores quantidades de biomassa. Cruz et al. (2004) reafirmam a importância das estimativas das correlações, principalmente se a seleção em um dos caracteres apresenta dificuldade, em razão da baixa herdabilidade e/ou porque este tenha dificuldades de medição e identificação.

Correlações genotípicas significativas entre as características morfoagronômicas e os índices de eficiência nutricional são de grande utilidade para a seleção precoce de plantas.

A eficiência de enraizamento (EE) se correlacionou positivamente com as características EPB e EUK e apresentou correlações negativas com a EA e ETK. Esse resultado pode ser devido ao fato das plantas terem investido mais na produção de raízes em detrimento da absorção e transporte do potássio, sugerindo que o transporte mais eficiente de nutrientes para a parte aérea limitou a expansão do sistema radicular, ou vice-versa (Tabela 4). Resultado semelhante foi encontrado por Amaral (2002). E para a eficiência de absorção (EA) foi observada correlação fenotípica e genotípica positivas entre as características ETK, EPB e EUK. A eficiência de translocação de potássio se correlacionou positivamente com as características EPB e EUK. Por fim, a eficiência de produção de biomassa (EPB), teve correlação alta e positiva com EUK (Tabela 4).

3.2.6. CONCLUSÕES

- 1) Existe variabilidade genética entre as 20 cultivares de café para as características avaliadas, cultivadas em ambiente com restrição de potássio;
- 2) Os elevados coeficientes de determinação genotípicos associados à grande variabilidade genética indicam a possibilidade de obtenção de êxitos em programa de melhoramento genético para as características altura de planta, comprimento

de internódio, diâmetro de caule, área foliar, eficiência de produção de biomassa e a eficiência de utilização de potássio;

3) A área foliar e o diâmetro de caule apresentam correlações genéticas significativas e positivas com as eficiências de enraizamento, de produção de biomassa e de utilização de potássio;

4) A característica morfoagronômica diâmetro de caule por ser de fácil mensuração, apresenta grande potencial para uso nos programas de melhoramento genético visando à seleção indireta de cultivares mais eficientes para potássio em ambientes com baixo nível desse nutriente.

3.2.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaral, J.F.T do. (2002) *Eficiência de produção de raízes, absorção, translocação e utilização de nutrientes em cultivares de café arábica*. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Viçosa-MG - Universidade Federal de Viçosa – UFV, 97p.

Bailian, L., Mckeand, S.E., Allen, H.L. (1991) Genetic variation in nitrogen use efficiency of lobeolly pine seedlings. *Forest Science*, 37 (2):613-626.

Cock, W.R.S., Tardin, F.D., Amaral Junior, A.T. do, Scapim, C.A., Amaral, J.F.T. do, Cunha, G. de M., Bressan-Smith, R.H., Pinto, R.J.B. (2003) Seleção de Genótipos de Alface Eficientes na Absorção do Fósforo. *Acta Scientiarum Agronomy*. Maringá, 25 (1):59-64.

Cruz, C.D.; Carneiro, P.C.S. (2003) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: UFV, v.2, 585p.

Cruz, C.D., Regazzi, A.J., Carneiro, P.C.S.(2004) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: UFV, 480 p.

Dias, N.L.P., Oliveira, E.J., Dantas, J.L.L. (2011) Avaliação de genótipos de mamoeiro com uso de descritores agronômicos e estimação de parâmetro genéticos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46 (11):1471-1479.

Falconer, D.S.(1987) *Introdução à genética quantitativa*. Viçosa, MG: UFV, 279p.

Falconer, D.S.; Mackay, T.F.C. (1996) *Introduction to quantitative genetics*. 4th ed. London: Longman Green, 464 p.

- Ferrão, R.G.(2004) *Biometria Aplicada ao Melhoramento Genético do Café Conilon*. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa- MG, 256p.
- Ferrão, R.G., Cruz, C.D., Ferreira, A., Cecon, P.R., Ferrão, M.A.G., Fonseca A.F.A. da, Carneiro, P.C. de S., Silva, M.F. da (2008) Parâmetros genéticos em café Conilon. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*., Brasília, 43 (1):61-69.
- Freitas, Z.M.T.S. de, Oliveira, F.J. de, Carvalho, S.P. de, Santos, V.F.dos, Silva, G.C. (2009) Variabilidade e correlações genéticas em cultivares de café arábica. *Revista Brasileira de Ciência Agrária*, Recife, 4 (2):122-127.
- Freitas, Z.M.T.S. de, Oliveira, F.J. de, Carvalho, S.P. de, Santos, V.F.dos, Santos, J.P. de O. (2007) Avaliação de caracteres quantitativos relacionados com o crescimento vegetativo entre cultivares de café arábica de porte baixo *Bragantia*, Campinas, 66 (2):267-275.
- Ramalho, M.A.P.; Santos, J.B.; Pinto, C.A.B.P. (2004) *Genética na agropecuária*. 3. ed. Lavras: UFLA, 472p.
- Rodrigues, W.N., Tomaz, M.A., Ferrão, R.G., Ferrão, M.A.G., Fonseca, A.F.A. da, Miranda F.D. de (2012) Estimativa de parâmetros genéticos de grupos de clones de café conilon. *Coffee Science*, Lavras, 7 (2):177-186.
- Siddiqi, M.Y., Glass, A.D.M. (1981) Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 4:289-302.
- Silva, F.S. (2006), *Melhoramento genético do mamoeiro (Carica papaya L.) pelo método convencional e molecular*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darci Ribeiro- UENF. Campos dos Goytacazes/RJ. 156p.
- Vencovsky, R., Barriga, P.(1992) Genética biométrica no fitomelhoramento. Ribeirão Preto: *Revista Brasileira de Genética*, 496p.

3.3. DIVERSIDADE GENÉTICA DE GENÓTIPOS DE *Coffea arabica* QUANTO À EFICIÊNCIA AO POTÁSSIO E CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS

3.3.1. RESUMO

A identificação de variabilidade genotípica de cafeeiro quanto à eficiência nutricional ao K é opção fundamental não apenas para ampliar a produtividade e reduzir o custo de produção agrícola, mas, sobretudo, para a prática de uma agricultura mais sustentável a natureza. Isto posto, delineou-se esta pesquisa com o objetivo de estimar a divergência genética entre 20 cultivares de café utilizando duas metodologias, visando identificar variabilidade em condições de baixa disponibilidade de potássio em solução nutritiva, bem como, determinar a importância relativa entre os caracteres indicando os de maior importância para a pré-seleção de genótipos superiores para eficiência no uso desse nutriente. Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados, com três repetições, em que cada unidade experimental foi constituída por um vaso com duas plantas, contendo 8 litros de solução nutritiva. Foram avaliadas as seguintes características: altura de planta, número de folhas, número de nós, comprimento de internódio, diâmetro de caule, área foliar, matéria seca de raiz, matéria seca de folha, matéria seca de caule, relação raiz/ parte aérea, eficiência de enraizamento, eficiência de absorção, eficiência de translocação de potássio, eficiência de produção de biomassa, eficiência de utilização de potássio. Houve

diferenças significativas entre as cultivares para a maioria das características avaliadas. As análises multivariadas pelos métodos UPGMA e Variáveis Canônicas possibilitaram a formação de cinco grupos, esses métodos foram eficientes na discriminação das cultivares de café arábica no estudo da diversidade genética. As cultivares Icatu Precoce 3282 e Oeiras MG 6851 foram as que apresentaram maiores distâncias, constituindo grupos isolados nos métodos utilizados. O grupo V apresentou o maior número de cultivares com maiores eficiências de enraizamento, de produção de biomassa e de utilização de potássio. É possível agrupar cultivares de café de diferentes origens, características morfoagronômicas e índices de eficiência nutricional para potássio. As características que mais contribuíram para a divergência genética são o comprimento de internódio e a eficiência de produção de biomassa.

3.3.2. ABSTRACT

Identification of genotypic variability of coffee as the K nutritional efficiency option is essential not only to increase productivity and reduce the cost of agricultural production, but above all to practice more sustainable farming nature. That said, outlined up this research with the objective of estimating the genetic diversity among 20 cultivars of coffee with two methodologies, to identify variability in low potassium availability in nutrient solution, as well as determine the relative importance between the characters indicating the most important for the pre - selection of superior genotypes for this nutrient use efficiency. It was used a randomized block design with three replications in each experimental unit consisted of one pot with two plants, containing 8 liters of nutrient solution. We evaluated the following characteristics: plant height, number of leaves, number of nodes, internodal length, stem diameter, leaf area, root dry matter, leaf dry matter, dry matter of stem, the root/ shoot, rooting efficiency, absorption efficiency, potassium translocation efficiency, biomass production efficiency, utilization efficiency potassium. There were significant differences among cultivars for most traits. Multivariate analyzes by UPGMA and Canonical Variables allowed the

formation of five groups, these methods were effective in the discrimination of *arabica coffee* cultivars in the study of genetic diversity. Cultivars Icatu Precoce 3282 and Oeiras MG 6851 showed the greatest distances, forming isolated groups in the methods used. Group V had the largest number of cultivars with higher efficiencies rooting, biomass production and use of potassium. You can group coffee cultivars of different origins, characteristics and agronomic efficiency ratios for potassium nutrition. The features that most contributed to divergence are internodal length and efficiency of biomass production.

3.3.3. INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma das principais atividades agrícolas do País. Trata-se de um mercado em expansão, cujo agronegócio movimentava 91 bilhões de dólares por ano. O Brasil é responsável por cerca de 35% da produção mundial, sendo o maior produtor e exportador e o segundo maior consumidor de café do mundo (FAO, 2013). Os principais estados produtores são Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Paraná, Bahia e Rondônia (CONAB, 2013). Contudo, o café é cultivado em uma diversidade de solos, muitos dos quais bastante intemperizados, apresentando deficiência aguda de bases, como cálcio, magnésio e potássio, o que requer uma elevada quantidade de insumos para se obter uma adequada produção.

O território brasileiro é constituído, em grande parte, por solos ácidos e pobres em nutrientes, em especial o potássio (K). Para torná-los produtivos, são utilizadas grandes quantidades de fertilizantes, que englobam cerca de 40 % dos custos variáveis de produção. O Brasil é o maior consumidor de potássio e a produção brasileira, apesar de ter crescido nos últimos anos, está ainda muito abaixo da demanda interna, em que a produção do mineral supre apenas 9% da necessidade, tendo que importar 91% do potássio utilizado (IBRAM, 2012).

Neste aspecto, como o adubo com formulações contendo potássio é basicamente todo importado, o custo da produção agrícola torna-se bastante elevado, e, com isso, é necessário buscar alternativas econômicas tais como técnicas que incluam doses, forma de aplicação e, também, identificar genótipos

eficientes no uso de potássio, bem como a seleção e adaptação de segregantes a solos com baixa disponibilidade do nutriente, por meio do melhoramento genético (Fageria e Baligar, 1993; Moura et al., 2007; Tomaz et al., 2008; Amaral et al., 2011), tornando assim uma alternativa valiosa para redução do custo e dos impactos ambientais. Os excessos de adubações potássicas contribuem para a contaminação do lençol freático e cursos d'água, bem como a salinização dos solos.

No aspecto técnico, uma das maneiras de mitigar os efeitos deste problema seria a utilização de variedades de plantas melhoradas capazes de utilizar os nutrientes de maneira eficiente, com vista à redução na quantidade de aplicações necessárias para produção.

O potássio é exigido e exportado em grandes quantidades pelo cafeeiro, sendo o segundo nutriente mais requerido pela cultura. Sua relação direta com a produção explica-se, especialmente, pela sua função na síntese de carboidratos nas folhas e seu transporte para os frutos e outros órgãos (Guimarães et al., 2011).

Em programas de melhoramento genético do cafeeiro existe uma carência por estudos relacionados à eficiência nutricional, em especial ao potássio, pelo fato de não se conhecer com profundidade os mecanismos relacionados à eficiência nutricional. Com isso, torna-se premente a identificação de características que são de fácil avaliação e a determinação de técnicas de seleção precoce para eficiência nutricional que possibilitam avaliar um grande número de genótipos em menor tempo e área (Moura et al., 2007).

Contabilizar estas diferenças entre genótipos é de crucial importância para direcionar estes genótipos para o melhoramento com vistas à eficiência na absorção, na translocação e no uso do potássio nas plantas.

Some-se a isto o fato de que estudos sobre divergência genética por meio de análise multivariada podem contribuir com a indicação de materiais com características favoráveis à seleção.

Assim, o objetivo foi estimar a divergência genética entre 20 cultivares de café utilizando duas metodologias, visando identificar variabilidade em condições de baixa disponibilidade de potássio em solução nutritiva, bem como, determinar a importância relativa entre os caracteres indicando os de maior importância para a pré-seleção de genótipos superiores para eficiência no uso desse nutriente.

3.3.4. MATERIAIS E MÉTODOS

Condução do experimento

O experimento foi conduzido pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/Unidade Regional Zona da Mata (EPAMIG/UREZM), no período de 2004 a 2005, em casa de vegetação no Departamento de Fitotecnia (DFT) da Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, em solução nutritiva estática aerada.

O experimento foi instalado seguindo a um delineamento de blocos ao acaso, com três repetições. Foram avaliadas vinte cultivares de café com duas plantas por parcela, com dose baixa de potássio 1,5 mmol/L.

Os materiais genéticos utilizados no estudo, na genealogia e no porte da planta encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Relação das cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) avaliadas no experimento

Cultivares	Genealogia	Porte
1-Catuaí Amarelo IAC 62	Caturra Amarelo IAC 476-11 x Mundo Novo IAC 374-19	Baixo
2-Paraíso MG H 419-1	Catuaí Amarelo IAC 30 x Híbrido de Timor UFV 445-46	Baixo
3-Icatu Vermelho IAC 4045	(<i>Coffea canephora</i> x Bourbon Vermelho) x Mundo Novo	Alto
4-Obatã IAC 1669/20	(Villa Sarchi x Híbrido de Timor) x Catuaí	Baixo
5-Caturra Amarelo	Mutação do Caturra Vermelho	Baixo
6-IPR 102	Icatu x Catuaí	Baixo
7-Catuaí Vermelho IAC 15	Caturra Amarelo IAC 476-11 x Mundo Novo	Baixo
8-Rubi MG 1192	Catuaí x Mundo Novo	Baixo
9-IPR 103	Icatu x Catuaí	Baixo
10-Araponga MG1	Catuaí Amarelo IAC 86 x Híbrido de Timor UFV 446-08	Baixo
11-Topázio MG 1190	Catuaí Amarelo x Mundo Novo	Baixo
12-San Ramon	---	Baixo
13-Icatu Precoce 3282	Icatu Vermelho x Bourbon Amarelo	Alto
14-Tupi IAC 1669-33	Villa Sarchi x Híbrido de Timor	Baixo
15-Catuaí 785/15	Icatu Vermelho x Catuaí Vermelho	Baixo
16-Acaiá Cerrado MG 1474	Seleção de Mundo Novo	Alto
17-Oeiras MG 6851	Híbrido CIFC HW 26/5 (Caturra Vermelho x Híbrido de Timor)	Baixo
18-São Bernardo	---	Baixo
19-Pau Brasil MG1	Catuaí Vermelho IAC 141 x Híbrido de Timor UFV 442/34	Baixo
20-Caturra Vermelho	Mutação de Bourbon Vermelho	Baixo

O semeio das 20 cultivares de café foi realizado em bandejas plásticas com dimensões 25cm x 35cm perfuradas no fundo com broca 4mm para drenar o excesso de água, contendo areia previamente tratada com HCl 0,1 N, durante 24 horas e posteriormente lavada com água deionizada. Foram semeadas 65 sementes sem pergaminho para cada cultivar. Realizaram-se irrigações semanais até que as plântulas atingissem a fase de “orelha de onça”, quando foram transplantadas para os baldes plásticos (duas plantas / balde) contendo 8,0 litros da solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) modificada (Tabelas 2 e 3). A oxigenação da solução nutritiva foi efetuada por compressor Schultz e distribuída pelas bancadas por uma rede de canos pvc de 20 mm.

Durante todo o período de condução do experimento os volumes das soluções de cada balde foram completados com água desionizada até o volume de 8,0 L. O pH foi ajustado semanalmente com HCl (1,0N) e NaOH (1,0N) entre 5,5 e 6,5 e a troca das soluções foi realizada com base no monitoramento da condutividade elétrica (CE), quando a depleção da mesma atingiu 30% da CE inicial. Realizaram-se duas trocas de solução nutritiva.

Avaliaram-se as características utilizando a média das duas plantas da parcela: altura da planta (AP): medida em metro, da base do ramo ortotrópico ao ápice da planta, número de folhas (NF): obtido pela contagem em toda planta, número de nós (NNO): obtido pela contagem visual no ramo ortotrópico, diâmetro do caule (DC): medido em milímetro, com uso de paquímetro, efetuado na base do ramo ortotrópico, comprimento de internódio (CI): Calculado a partir da altura da planta/ número de nós e área foliar (AF) que foi quantificada a partir do número de folhas totais em medidor de área foliar modelo AT Delta-T Devices.

Após a coleta das plantas o material vegetal foi separado em raiz, caule, folhas, foram submetidos à secagem em estufa com circulação forçada de ar a 70°C, por 72 horas, pesados, obtendo-se assim as seguintes características: matéria seca de raiz (MSR), matéria seca de Caule (MSC), matéria seca de Folha, matéria seca de parte aérea (somatório da MSC e MSF) e matéria seca total (somatório das MSPA e MSR). O material vegetal seco foi moído em moinho Willey, com peneira número 20, uma amostra foi retirada e enviada ao laboratório de análise foliar da Universidade Federal de Viçosa (UFV) para determinação dos teores de macro e micronutrientes. Os teores de N, P, K, Ca, Mg, Zn e Cu, foram submetidos à digestão sulfúrica (Johnson, 1959). A partir do conhecimento dos

teores de K nas diversas partes da planta, foram obtidos os conteúdos de K pelo produto entre os teores e a produção de matéria seca de cada segmento da planta.

De acordo com os dados de matéria seca e de teor (K), foram estimados os índices de eficiência nutricional, conforme as relações apresentadas a seguir, de acordo com Siddiqi e Glass, (1981) e Bailian et al. (1991): a) Eficiência de enraizamento (EE) = (g de matéria seca de raiz)² / mg de K total na planta; b) Eficiência de absorção (EA) = mg de K total na planta / g matéria seca de raiz; c) Eficiência de translocação de potássio (ETK) = mg de K na parte aérea / mg K total na planta; d) Eficiência de produção de biomassa (EPB) = (g de matéria seca de parte aérea)² / mg de K na parte aérea; e) Eficiência de utilização de potássio (EUK) = (g matéria seca total)² / mg de K total na planta.

Análise da diversidade

Inicialmente, os dados foram submetidos à análise de variância para verificação de variabilidade genética entre as cultivares e, em seguida, os valores médios foram classificados segundo o critério de agrupamento Scott-Knott (Scott; Knott, 1974), a 5% de probabilidade, por meio do programa GENES (Cruz, 2006).

Para análise de agrupamento, foi utilizado o método *Unweighted Pair-Group Method Using an Arithmetic Average* (UPGMA), com base na matriz de dissimilaridade genética estimada pela distância generalizada de Mahalanobis. Também foi realizada análise de variáveis canônicas e a importância relativa das características pelo método de Singh (1981).

As análises de distância Generalizada de Mahalanobis e da importância relativa das características foram efetuadas com o Programa GENES (Cruz, 2006), enquanto para as análises de agrupamento e de correlação cofenética foi utilizado o pacote *hcluster*, do Programa R (R *DEVELOPMENT CORE TEAM*, 2006).

3.3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância, todas as características apresentaram diferenças significativas a 1% de probabilidade, pelo teste F, exceto a característica relação raiz parte aérea (RRPA), que não apresentou diferença significativa. Esses resultados são indicativos da existência de variabilidade genética entre as cultivares (Tabela 2).

Para as características AP e CI, as cultivares de café apresentaram as maiores variabilidades, com a formação de quatro e cinco grupos, respectivamente. Já para as características DC, AF, MSF, MSC, EA, EPB e EUK constatarem a formação de três grupos, seguidas pelas características NF, NNO, MSR, EE e ETK, que foram constituídas por dois grupos. Apenas a característica RRPA não apresentou diferença significativa entre as cultivares (Tabela 3).

As cultivares Icatu Vermelho IAC 4045, Icatu Precoce 3282 e Acaia Cerrado MG 1474 (Tabela 3), apresentaram as maiores médias para altura de planta e comprimento de internódio. Esse resultado é devido ao fato de que essas cultivares apresentam porte alto (Carvalho et al., 2008). Por outro lado as cultivares San Ramon e São Bernardo (Tabela 3) apresentaram as menores alturas de plantas e menores comprimentos de internódio, o que era esperado, uma vez que essas cultivares reúnem plantas extremamente baixas (Carvalho et al., 2008). Moura et al. (2007) encontraram resultados semelhantes para as cultivares Icatu Precoce 3282, San Ramon e São Bernardo, no cultivo em solução nutritiva, em resposta a quatro diferentes combinações de N e K. As cultivares Catuaí Amarelo IAC 62, Caturra Amarelo, Catuaí Vermelho IAC 15, Rubi MG 1192, Icatu Precoce 3282, Pau Brasil MG 1 e Caturra Vermelho apresentaram as maiores médias para as características NF, NNO e AF. Enquanto que as menores médias foram constatadas para as cultivares IPR103 e Oeiras MG 6851. Quanto ao DC as maiores médias foram apresentadas para as cultivares Obatã IAC 1669/20, Caturra Amarelo, IPR 102, Catuaí Vermelho IAC 15, Rubi MG 1192, Araponga MG 1, Tupi IAC 1669-33, Catucaí 785/15 e Caturra Vermelho. Já as cultivares Paraíso MG H 419-1, Icatu Vermelho 4045, IPR 103 e San Ramon apresentaram os menores DC (Tabela 3).

Tabela 2- Análise de variância de 15 características agrônômicas avaliadas para 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com dose baixa de potássio (K) (1,5 mmol,L⁻¹)

FV	GL	QUADRADO MÉDIO									
		AP ^{1/}	NF ^{2/}	NNO ^{3/}	CI ^{4/}	DC ^{5/}	AF ^{6/}	MSR ^{7/}	MSC ^{8/}	MSF ^{9/}	RRPA ^{10/}
Bloco	2	0,54	13,68	0,82	0,12	0,0011	45630,30	0,76	2,12	4,33	0,0109
Genótipo	19	199,83**	63,69**	0,76**	1,14**	0,023**	214012,93**	0,97**	4,23**	6,54**	0,0011 ^{ns}
Resíduo	38	9,32	13,92	0,31	0,04	0,003	35390,60	0,23	0,50	1,00	0,0008
Média		43,04	35,28	11,93	3,61	0,57	1892,29	3,19	4,68	9,72	0,22
CV _e %		7,09	10,57	4,65	5,68	10,26	9,94	14,96	15,13	10,30	12,72

^{1/}Altura de planta, ^{2/} Número de folhas, ^{3/} Número de nós, ^{4/} Comprimento de internódio, ^{5/} Diâmetro de caule, ^{6/} Área foliar, ^{7/} Matéria seca de raiz, ^{8/} Matéria seca de folha, ^{9/} Matéria seca de caule, ^{10/} Relação raiz/ parte aérea.

Tabela 2, Cont.

FV	GL	QUADRADO MÉDIO				
		EE ^{11/}	EA ^{12/}	ETK ^{13/}	EPB ^{14/}	EUK ^{15/}
Bloco	2	0,00133	275,12	0,0036	0,201	0,128
Genótipo	19	0,0093**	248,39**	0,0036**	0,411**	0,496**
Resíduo	38	0,0002	87,39	0,0009	0,076	0,094
Média		0,06	56,18	0,81	1,52	1,82
CV _e %		27,36	16,64	3,74	18,10	16,80

^{11/} Eficiência de enraizamento, ^{12/} Eficiência de absorção, ^{13/} Eficiência de translocação de potássio, ^{14/} Eficiência de produção de biomassa, ^{15/} Eficiência de utilização de potássio.

** Significativo, em nível de 1% de probabilidade pelo teste F

* Significativo, em nível de 5% de probabilidade pelo teste F e

^{ns} Não significativo.

Tabela 3- Agrupamento de médias de 15 características avaliadas em 20 cultivares de café cultivadas em solução nutritiva com dose baixa de potássio (K) (1,5 mmol.L⁻¹)

Cultivares	CARACTERÍSTICAS ^{1/}									
	AP (cm)	NF	NNO	CI (cm)	DC (cm)	AF (cm ²)	MSR (g)	MSC (g)	MSF (g)	RRPA (g.g ⁻¹)
Catuaí Amarelo IAC 62	47,37 B	36,33 A	12,33 A	3,84 B	0,58 B	2289,70 A	3,08 B	5,25 B	11,34 A	0,185 A
Paraíso MG H 419-1	42,32 B	33,33 B	12,00 A	3,56 B	0,48 C	1920,70 A	3,28 A	3,84 B	9,64 A	0,244 A
Icatu Vermelho 4045	55,80 A	27,00 B	12,00 A	4,65 A	0,46 C	1435,27 C	2,48 B	4,09 B	6,83 C	0,227 A
Obatã IAC 1669/20	42,35 B	33,00 B	11,67 B	3,63 B	0,65 A	1938,45 A	4,00 A	6,26 A	10,85 A	0,235 A
Caturra Amarelo	43,42 B	41,00 A	12,00 A	3,62 B	0,67 A	2064,30 A	3,52 A	6,12 A	11,02 A	0,207 A
IPR 102	42,30 B	38,50 A	11,17 B	3,78 B	0,61 A	1984,88 A	3,85 A	5,73 A	10,75 A	0,237 A
Catuaí Vermelho IAC 15	44,77 B	37,00 A	12,67 A	3,53 B	0,57 B	2181,17 A	3,18 B	5,00 B	10,01 A	0,213 A
Rubi MG 1192	42,17 B	38,00 A	12,83 A	3,29 C	0,65 A	2148,08 A	3,95 A	5,56 A	11,18 A	0,237 A
IPR 103	36,80 C	28,83 B	11,50 B	3,20 C	0,48 C	1777,53 B	2,59 B	2,74 C	8,48 B	0,232 A
Araponga MG1	40,67 B	34,00 B	11,83 B	3,47 C	0,65 A	2042,02 A	3,86 A	4,74 B	10,54 A	0,254 A
Topázio MG 1190	43,87 B	40,17 A	11,67 B	3,76 B	0,52 B	2098,87 A	2,94 B	4,30 B	10,26 A	0,205 A
San Ramon	27,03 D	29,50 B	12,17 A	2,26 E	0,39 C	1236,35 C	2,03 B	1,65 C	6,03 C	0,235 A
Icatu Precoce 3282	61,03 A	35,00 A	12,33 A	4,95 A	0,56 B	1623,73 B	2,90 B	5,26 A	8,45 B	0,214 A
Tupi IAC 1669-33	36,57 C	41,50 A	11,17 B	3,29 C	0,71 A	1971,77 A	3,74 A	6,17 A	11,15 A	0,217 A
Catuaí 785/15	37,93 C	40,33 A	11,67 B	3,25 C	0,71 A	1891,45 A	3,83 A	5,01 A	10,28 A	0,249 A
Acaíá Cerrado MG 1474	59,80 A	30,17 B	12,67 A	4,71 A	0,53 B	1525,12 C	3,04 B	5,27 A	7,91 B	0,231 A
Oeiras MG 6851	42,15 B	28,33 B	11,17 B	3,77 B	0,51 B	1727,52 B	2,49 B	3,81 B	9,29 A	0,190 A
São Bernardo	33,80 C	40,67 A	11,50 B	2,93 D	0,54 B	2025,23 A	2,84 B	3,31 B	9,84 A	0,215 A
Pau Brasil MG1	38,93 B	36,67 A	12,00 A	3,24 C	0,58 B	1892,33 A	2,82 B	4,55 A	10,04 A	0,193 A
Caturra Vermelho	41,87 B	36,33 A	12,33 A	3,40 C	0,64 A	2071,27 A	3,47 A	4,95 A	10,48 A	0,226 A
Média	43,04	35,28	11,93	3,61	0,57	1892,29	3,19	4,68	9,72	0,22
CV _e %	7,09	10,57	4,65	5,68	10,26	9,94	14,96	15,13	10,30	12,72

^{1/} Altura de Planta (AP), Número de Folhas (NF), Número de Nós (NNO), Comprimento de Internódio (CI), Diâmetro de Caule (DC), Área Foliar (AF), Matéria seca de folha (MSF), Matéria seca de caule (MSC), Matéria seca de raiz (MSR), Relação raiz/ parte aérea (RRPA).

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula pertencem ao mesmo grupo, pelo critério de agrupamento de Scott-Knott, em nível de 5% de probabilidade.

Tabela 3, Cont.

Cultivares	CARACTERÍSTICAS ^{1/}				
	EE (g ² .mg ⁻¹)	EA(mg.g ⁻¹)	ETK (mg.mg ⁻¹)	EPB (g ² .mg ⁻¹)	EUK (g ² .mg ⁻¹)
Catuaí Amarelo IAC 62	0,0421 B	78,0771 A	0,8841 A	1,4420 B	1,7583 B
Paraíso MG H 419-1	0,0622 B	54,7314 C	0,8048 B	1,2963 B	1,6099 B
Icatu Vermelho 4045	0,0467 B	53,3632 C	0,8346 A	1,0869 B	1,3684 B
Obatã IAC 1669/20	0,0803 A	50,0625 C	0,7856 B	1,8842 A	2,2397 A
Caturra Amarelo	0,0672 A	53,6751 C	0,7853 B	2,0046 A	2,2881 A
IPR 102	0,0813 A	48,3886 C	0,7721 B	1,9020 A	2,2390 A
Catuaí Vermelho IAC 15	0,0623 B	51,1579 C	0,8341 A	1,6593 A	2,0346 A
Rubi MG 1192	0,0880 A	45,8818 C	0,7634 B	2,0581 A	2,3931 A
IPR 103	0,0491 B	52,9974 C	0,8047 B	1,1419 B	1,3929 B
Araponga MG1	0,0854 A	46,4349 C	0,7510 B	1,7760 A	2,0908 A
Topázio MG 1190	0,0499 B	60,0641 C	0,8287 A	1,4721 B	1,7569 B
San Ramon	0,0269 B	78,0698 A	0,8164 A	0,6118 C	0,7566 C
Icatu Precoce 3282	0,0512 B	56,6350 C	0,8556 A	1,3401 B	1,6836 B
Tupi IAC 1669-33	0,0712 A	53,8142 C	0,7813 B	1,9327 A	2,2293 A
Catuaí 785/15	0,0855 A	49,58 05C	0,7809 B	1,6881 A	2,0497 A
Acaíá Cerrado MG 1474	0,0579 B	54,1232 C	0,8377 A	1,2925 B	1,6433 B
Oeiras MG 6851	0,0415 B	60,7283 C	0,8428 A	1,3628 B	1,6253 B
São Bernardo	0,0473 B	63,2898 B	0,8368 A	1,1957 B	1,4753 B
Pau Brasil MG1	0,0456 B	64,0537 B	0,8463 A	1,4202 B	1,7095 B
Caturra Vermelho	0,0737 A	48,4663 Cb	0,8003 B	1,7975 A	2,1558 A
Média	0,06	56,18	0,81a	1,52a	1,83a
CV _e %	27,35	16,64	3,74	18,10	16,80

^{1/}Eficiência de enraizamento (EE), Eficiência de absorção (EA), Eficiência de translocação de potássio (ETK), Eficiência de produção de biomassa (EPB), Eficiência de utilização de potássio (EUK).

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula pertencem ao mesmo grupo, pelo critério de agrupamento de Scott-Knott, em nível de 5% de probabilidade.

Considerando as características de produção de matéria seca (MSR, MSC e MSF), as cultivares Obatã IAC 1669/20, Caturra amarelo, IPR 102, Rubi MG 1192, Araponga MG 1, Tupi IAC 1669-33, Catucaí 785/15 e Caturra Vermelho (Tabela 3) apresentaram as maiores produções, e a cultivar San Ramon foi a menos produtiva. Resultado semelhante foi obtido por (Cardoso, 2010), sob o cultivo em nível baixo de nitrogênio.

As cultivares Obatã IAC 1669/20, Caturra amarelo, IPR 102, Rubi MG 1192, Araponga MG 1 e Tupi IAC 1669-33 se destacaram por apresentarem as maiores eficiências de enraizamento, de produção de biomassa e utilização de potássio, embora tenham sido pouco eficientes na absorção e translocação de potássio (Tabela 3). Por outro lado, as cultivares Catucaí Amarelo IAC 62 e San Ramon foram as mais eficientes na absorção e translocação de K, porém apresentaram baixa eficiência na utilização de potássio para a produção de biomassa.

As cultivares Obatã IAC 1669/20, Caturra Amarelo, IPR 102, Catucaí Vermelho IAC 15, Rubi MG 1192, Araponga MG 1, Tupi IAC 1669-33, Catucaí 785/15 e Caturra Vermelho, apresentaram os maiores diâmetros de caule e as maiores produções de biomassa, esse resultado confirma a existência de correlação positiva entre essas características (Tabela 4, Trabalho 3.2).

No estudo da divergência genética, a partir da distância generalizada de Mahalanobis, verificou-se os pares de cultivares mais dissimilares: Icatu Precoce 3282 e IPR 103 (780,9), Icatu Vermelho 4045 e San Ramon (752,3), Icatu Precoce 3282 e Oeiras MG 6851 (739,1), San Ramon e Acaíá Cerrado MG 1474 (710,3), Icatu Precoce 3282 e Catucaí Amarelo IAC 62 (698,9), San Ramos e Araponga MG 1 (684,0). E as cultivares mais semelhantes foram: Pau Brasil MG1 e Caturra Vermelho (10,0), Araponga MG1 e Caturra Vermelho (10,5), Catucaí Vermelho IAC 15 e Caturra Vermelho (12,6), Icatu Vermelho 4045 e Acaíá Cerrado 1474 (16,4), Caturra Amarelo e Tupi IAC 1669-33 (18,4), Catucaí Vermelho IAC 15 e Pau Brasil MG1 (18,5) (Tabela 4, em Apêndice B). É de se esperar resultados satisfatórios nos cruzamentos entre as cultivares de grupos diferentes que possuem características de interesse, visto que a participação de diferentes fontes gênicas pode tornar mais viável a ampliação da base genética e a obtenção de indivíduos com características desejadas. (Falconer, 1996).

Pela análise de agrupamento, utilizando o método UPGMA, Cruz (2004) sugere que o simples exame visual de pontos, onde ocorram mudanças de níveis, possibilita a separação dos grupos de dissimilaridade. Verificou-se a formação de cinco grupos e apresentou correlação cofenética (r) de 0,85 (Figura 1).

O grupo I foi formado pela cultivar Icatu Precoce 3282 (Figura 1), que apresenta porte alto, uma vez que é originada da cultivar Mundo Novo e caracterizada pela precocidade de maturação dos frutos e tolerância a ferrugem (Carvalho et al., 2008). Essa cultivar apresentou alta eficiência de translocação de potássio, porém com pouca eficiência de utilização do mesmo (Tabela 3).

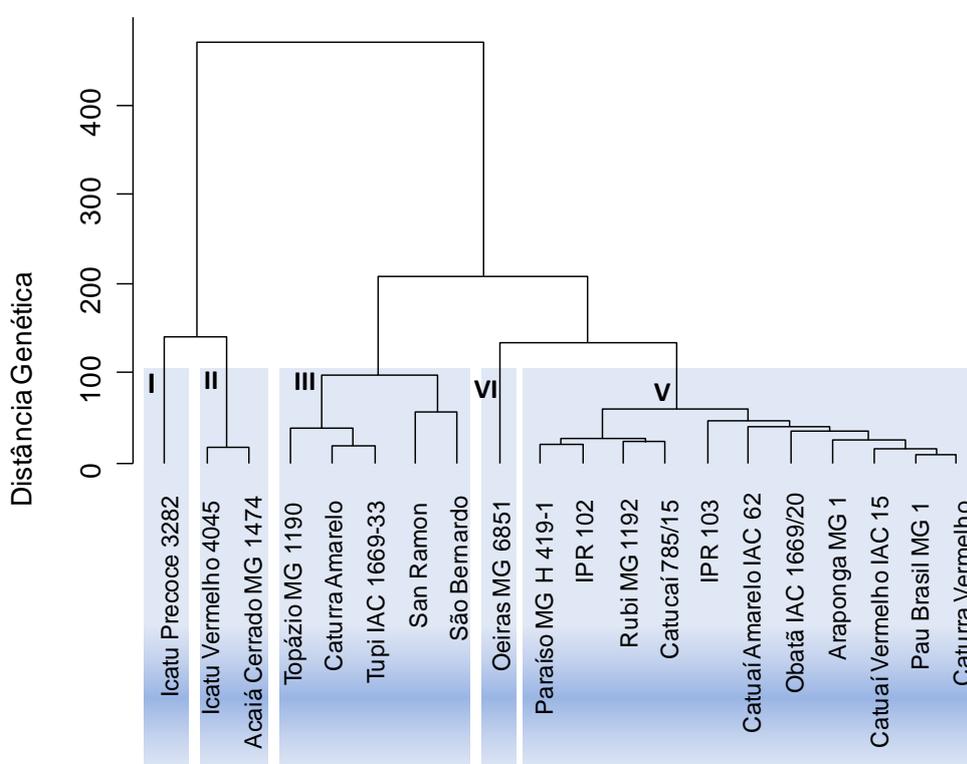


Figura 1 – Dendrograma de dissimilaridade genética entre 20 cultivares de café arábica, cultivadas em solução nutritiva com dose baixa de potássio (K) ($1,5 \text{ mmol.L}^{-1}$), obtidas pelo método UPGMA, com base em 15 características quantitativas, utilizando-se a distância generalizada de Mahalanobis (Correlação cofenética: 0,85).

O grupo II foi formado pelas cultivares, Icatu Vermelho 4045 e Acaiá Cerrado MG 1474 (Figura 1), que apresentam porte alto, internódios longos, e descendem da cultivar Mundo Novo (Carvalho et al., 2008). Essas cultivares

apresentaram maiores eficiência de translocação, embora tenham sido pouco eficientes na utilização do nutriente para a conversão em biomassa.

O grupo III foi constituído por cinco cultivares: Topázio MG 1190, Caturra Amarelo, Tupi IAC 1669-33, San Ramon e São Bernardo (Figura 1). A maioria dessas cultivares apresentou menores AP, NNO, DC, MSR, MSC e maiores NF, AF e MSF (Tabela 3), entretando foram eficientes na translocação de potássio, apesar de terem sido pouco eficientes no enraizamento, na absorção e na utilização desse nutriente em produção de biomassa (Tabela 3).

O grupo IV foi formado somente pela cultivar Oeiras MG 6851 (Figura 1), que se destaca por pertencer ao germoplasma Catimor, apresenta porte baixo, alto vigor vegetativo, longevidade e resistência à ferrugem-do-cafeeiro (Carvalho et al., 2008). Essa cultivar apresentou eficiência de translocação de potássio, porém, foi menos eficiente no enraizamento, na absorção e na produção de biomassa (Tabela 3).

O grupo V foi o que abrangeu o maior número de cultivares: Paraíso MG H 419-1, IPR 102, Rubi MG 1192, Catucaí 785/15, IPR 103, Catuaí Amarelo IAC 62, Obatã IAC 1669/20, Araponga MG 1, Catuaí Vermelho IAC 15, Pau Brasil MG 1, Caturra Vermelho (Figura 1). Essas cultivares apresentam porte baixo e menor comprimento de internódio, sendo que a maioria apresenta também maiores NF, NNO, DC, AF, MSR, MSC e MSF (Tabela 3). Esse grupo destacou-se por apresentar o maior número de cultivares com eficiência de utilização de potássio, para produções de matéria seca de raiz e de biomassa, embora tenham apresentado menores eficiências na absorção e translocação desse nutriente (Tabela 3). Também se observou que as cultivares desse grupo apresentam pelo menos um parental em comum e com isso espera-se que exista uma menor variabilidade (Tabela 1).

Na análise das Variáveis Canônicas (VC), verificou-se que as duas primeiras variáveis explicaram 88,82% da variância total acumulada, sendo VC_1 responsável por 49,60% e VC_2 por 39,22% (Tabela 4), o que permite explicar satisfatoriamente a variabilidade manifestada entre os genótipos avaliados. Estes valores são considerados satisfatórios para representação gráfica bi-dimensional, o que é possível quando as Variáveis Canônicas explicam mais de 80% da variância contida no conjunto de características analisadas (Cruz et al., 2004).

Tabela 4- Variâncias acumuladas (%) pelas variáveis Canônicas (CV_i) das 15 características avaliadas para as 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com dose baixa de potássio (K) ($1,5 \text{ mmol.L}^{-1}$)

Variáveis Acumuladas (%)	VC_i										
	VC_1	VC_2	VC_3	VC_4	VC_5	VC_6	VC_7	VC_8	VC_9	...	VC_{15}
	49,69	88,82	93,89	95,60	97,04	97,98	98,66	99,07	99,36	...	100,00

Pela análise visual do gráfico bidimensional (Figura 2), pode-se observar que houve a formação de cinco grupos, de forma análoga à dos grupos formados pelo método hierárquico UPGMA, confirmando a discriminação apresentada pelas cultivares no estudo da divergência genética. A compatibilidade dos resultados utilizando essas metodologias também foi constatada por Cardoso (2010), para cultivares de café cultivadas em ambiente com baixa disponibilidade de nitrogênio.

Quanto à formação de grupos e projeção no plano bidimensional pelos métodos UPGMA e Variáveis Canônicas alguns trabalhos têm sido realizados com a cultura do cafeeiro (Pedrosa, 2008; Macedo et al., 2008), contudo, com relação às variáveis descritas nestes trabalho as informações são bastante limitadas, o que realça a necessidade de implementação de novas pesquisas.

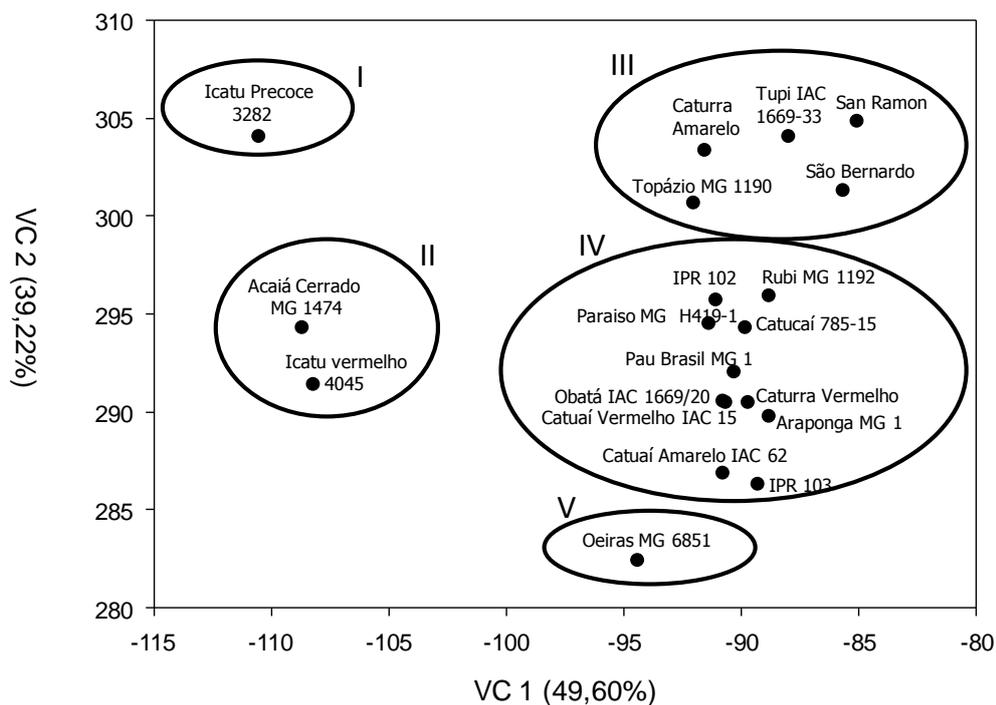


Figura 2 – Dispersão gráfica dos escores em relação aos eixos representativos das variáveis canônicas (VC_1 e VC_2) relativas a 15 características estudadas em 20 cultivares de café arábica, cultivadas em solução nutritiva com dose baixa de potássio (K) ($1,5 \text{ mmol.L}^{-1}$).

O método de Singh (1981) foi utilizado para avaliar a importância relativa das 15 variáveis, indicando que as variáveis que mais contribuíram para a divergência foram: comprimento de internódio (30,87%) e eficiência de produção de biomassa (15,76) (Figura 3). Esta análise fornece uma ideia das possíveis características a serem consideradas nas análises futuras. Cruz et al. (2012), relatam que a importância relativa dos caracteres auxilia no descarte de variáveis, permitindo uma melhor escolha de variáveis a serem consideradas em uma avaliação de divergência genética entre populações ou genótipos.

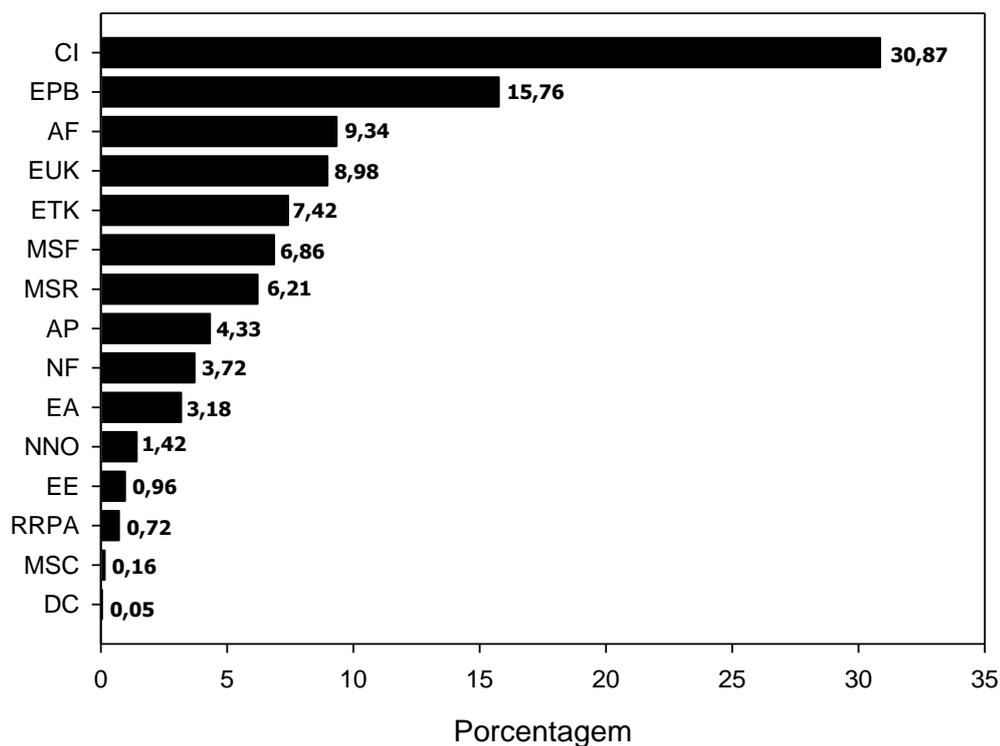


Figura 3 – Contribuição relativa das características avaliadas (%), segundo a metodologia de Singh (1981), para 20 cultivares de café arábica, cultivadas em solução nutritiva com dose baixa de potássio (K) ($1,5 \text{ mmol.L}^{-1}$). Em que: CI: Comprimento de Internódio, EPB: Eficiência de Produção de Biomassa, AF: Área Foliar, EUK: Eficiência de Utilização de potássio, ETK: Eficiência de Transporte de Potássio, MSF: Matéria Seca de Folha, MSR: Matéria Seca de Raiz, AP: Altura de Planta, NF: Número de Folhas, EA: eficiência de absorção, NNO: Número de Nós, EE: Eficiência de enraizamento, RRPA: Relação Raiz/ Parte Aérea, DC: Diâmetro de Caule.

Diante do exposto, a análise de comparação de médias, juntamente com os agrupamentos estabelecidos pelo método UPGMA e pelas Variáveis Canônicas, permitem a identificação de cultivares mais eficientes nutricionalmente para potássio, em cultivo de baixo nível desse nutriente. Essa identificação pode fornecer condições para seleção de genótipos contrastantes que auxiliaram na determinação do controle genético dessas características, permitindo uma estratégia de melhoramento mais adequada na identificação de cultivares superiores de café arábica. Este é o pressuposto do melhoramento para se

produzir em ambientes de baixa fertilidade em relação ao potássio, com redução de custo e implementação de uma agricultura mais sustentável.

3.3.6. CONCLUSÕES

- 1) Há variabilidade genética entre as 20 cultivares de café para as características avaliadas, em ambiente com baixa disponibilidade de potássio;
- 2) O método UPGMA é eficiente na discriminação das cultivares de café arábica de forma análoga à técnica de variáveis canônicas no estudo da diversidade genética;
- 3) É possível agrupar cultivares de café com diferentes origens, características morfoagronômicas e índices de eficiência nutricional para potássio;
- 4) As características que mais contribuem para a divergência genética são o comprimento de internódio e a eficiência de produção de biomassa; podendo ser usadas como parâmetro de seleção na avaliação de cultivares eficientes em potássio.

3.3.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaral, J.F.T do, Martinez, H.E.P., Laviola, B.G., Fernandes Filho, E.I., Cruz, C.D. (2011) Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. *Ciência Rural*, 41 (40):621-629.
- Bailian, L., Mckeand, S.E., Allen, H.L. (1991) Genetic variation in nitrogen use efficiency of lobeolly pine seedlings. *Forest Science*, 37 (2):613-626.

- Cardoso, P.M.R. (2010) *Análise biométrica da eficiência nutricional para nitrogênio em café (Coffea arabica L.)*. Dissertação de mestrado em Genética e melhoramento de plantas – Universidade Estadual do Norte fluminense-Darcy Ribeiro- UENF, Campos dos Goytacazes-RJ, 88p.
- Carvalho, C.H.S. (2008) *Cultivares de café: origem, características e recomendações*. 1. ed. Brasília: Embrapa Café, 334p.
- CONAB (2013). Companhia Nacional de Abastecimento. Indicadores. Disponível em <<http://www.conab.gov.br/>> Acesso em 02 de março, de 2013.
- Cruz, C.D., Regazzi, A.J., Carneiro, P.C.S.(2012) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: UFV, 514 p
- Cruz, C.D. (2006). *Programa Genes: Versão Windows; aplicativo computacional em genética e estatística*. 2. ed. UFV: Imprensa Universitária, 648p.
- Cruz, C.D., Regazzi, A. J., Carneiro, P.C.S.(2004) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: UFV, 480 p.
- Fageria, N.K., Baligar, V.C. (1993) Screening crop genotypes for mineral stresses. In: *Workshop on Adaptation of Plants to Soil Stresses*. Lincoln. Proceedings. Lincoln: University of Nebraska, p. 142-159.
- FAO, 2013. FAOSTAT Database Query. Disponível em <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em 02 de março, de 2013.
- Falconer, D.S., Mackay, T.F.C. (1996) *Introduction to quantitative genetics*. 4th ed. London: Longman Green, 464 p.
- Guimarães, P.T.G., Nogueira, F.D., Malta, M.R., Dias, K.G. de L., Reis, T.H.P. (2011) Nutrição do cafeeiro e sua relação com a qualidade do café. In: *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, 32 (261):39-51.
- IBRAM- (2012) *Informações e análises da economia mineral Brasileira*. 7ª edição organizado pelo Instituto Brasileiro de Mineração.
- Macedo, C.M.P. de, Lopes, J.C. (2008) Qualidade fisiológica de semente de café arábica na presença de Alumínio. *Revista Brasileira de Sementes*, 30 (1):66-73.
- Moura, W.M.; Lima, P.C.; Martinez, H.E.P.; Paixão, G.P.; Sano, P.M.; Condé, A.B.T.; Pertel, J. (2007) Avaliação de cultivares de café em solução nutritiva com diferentes níveis de nitrogênio e potássio. CD-ROM dos *Anais do Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, 5, Águas de Lindóia, SP. Brasília, D.F.: Embrapa - Café, 4p.

- Pedrosa, A.W. (2008) *Tolerância diferencial e eficiência nutricional de café arábica em relação à deficiência de zinco*. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Viçosa-MG - Universidade Federal de Viçosa – UFV, 104p.
- R Development core team. A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2006. Capturado em 28 de maio de 2012. On line. Disponível: <http://www.r-project.org>.
- Siddiqi, M.Y., Glass, A.D.M. (1981) Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 4:289-302.
- Scott, A.J., Knott, M.A (1974) Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics*, Washington, 30:507-512.
- Singh, D. (1981) The relative importance of characters affecting genetic divergence. *Ind. J. Genet. Plant Breed.*, 41(2): 237-245.
- Tomaz, M.A., Amaral, J.F.T. do (2008) Eficiência Nutricional em Plantas. In: Polanczyk, R. A. et al. 1. ed *Estudos Avançados em Produção Vegetal*. Alegre, ES:. UFES, Centro de Ciências Agrária, 1:300p.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo identificar cultivares de cafeeiro arábica eficientes na absorção, no transporte e no uso de potássio. E, como objetivos específicos: i) quantificar a variabilidade genética e avaliar o desempenho de 20 cultivares de *Coffea arabica*, cultivadas em solução nutritiva, com dois níveis de K, visando à identificação de cultivares menos exigentes no uso de potássio; ii) estimar parâmetros genéticos e correlações fenotípicas, genotípicas e ambientais, entre características morfoagronômicas e os índices de eficiência nutricional para potássio de 20 cultivares de café arábica cultivadas em solução nutritiva com nível baixo de potássio (1,5 mmol/L), visando, assim gerar conhecimentos que irão proporcionar subsídios para a identificação de estratégias adequadas para impulsionar o melhoramento genético dessa cultura; e iii) estimar a divergência genética entre 20 cultivares de café utilizando duas metodologias, visando identificar variabilidade em condições de baixa disponibilidade de potássio em solução nutritiva (1,5 mmol/L de K), bem como, determinar a importância relativa entre os caracteres indicando os de maior importância para a pré-seleção de genótipos superiores para eficiência no uso desse nutriente. Nesse sentido, utilizou-se delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial (20x2), sendo 20 cultivares de café, dois ambientes de cultivo em solução nutritiva: nível adequado de K (4,0 mmol/L) e baixo de K (1,5 mmol/L), com três

repetições. Cada unidade experimental foi constituída por um vaso com duas plantas, contendo 8 litros de solução nutritiva.

A análise dos resultados permitiu as seguintes conclusões:

1. Existe variabilidade genética entre as 20 cultivares de café, para as características morfoagronômicas e para as características de produção de matéria seca nos dois ambientes de cultivo estudados;
2. A cultivar Obatã IAC 1669/20 é a mais eficiente na utilização de potássio e na produção de biomassa na dose adequada de K;
3. Para ambientes com baixa disponibilidade de potássio as cultivares Obatã IAC 1669/20, Caturra Amarelo, IPR 102, Catuaí Vermelho IAC 15, Rubi MG 1192, Araponga MG 1, Tupi IAC 1669-33, Catucaí 785/15 e Caturra Vermelho, são as mais eficientes nutricionalmente para esse nutriente, podendo ser recomendadas para futuros programas de melhoramento, visando à obtenção de cultivares de café eficientes para baixa disponibilidade de potássio;
4. As cultivares Araponga MG 1, Tupi IAC 1669-33 e Catucaí 785/15, são responsivas à adição de potássio no ambiente de cultivo;
5. Pelo fato desse estudo ter sido conduzido em solução nutritiva, é necessário a confirmação da potencialidade dessas cultivares classificadas como eficientes para potássio, em nível de campo;
6. Há variabilidade genética entre as 20 cultivares de café para as características avaliadas, em ambiente com baixa disponibilidade de potássio;
7. Os elevados coeficientes de determinação genotípicos associados à grande variabilidade genética indicam a possibilidade de obtenção de êxitos em programa de melhoramento genético para as características altura de planta, comprimento de internódio, diâmetro de caule, área foliar, eficiência de produção de biomassa e a eficiência de utilização de potássio;

8. A área foliar e o diâmetro de caule apresentam correlações genéticas significativas e positivas com as eficiências de enraizamento, de produção de biomassa e de utilização de potássio;
9. A característica morfoagronômica diâmetro de caule por ser de fácil mensuração, apresenta grande potencial para uso nos programas de melhoramento genético visando à seleção indireta de cultivares mais eficientes para potássio em ambientes com baixo nível desse nutriente;
10. O método UPGMA é eficiente na discriminação das cultivares de café arábica de forma análoga à técnica de variáveis canônicas no estudo da diversidade genética;
11. É possível agrupar cultivares de café com diferentes origens, características morfoagronômicas e índices de eficiência nutricional para potássio;
12. As características que mais contribuem para a divergência genética são o comprimento de internódio e a eficiência de produção de biomassa; podendo ser usadas como parâmetro de seleção na avaliação de cultivares eficientes em potássio.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIC, 2013. Disponível em <<http://www.abic.com.br>> Acesso em 31 de janeiro, de 2013.
- Ahmad, Z.; Gill, M.A.; Qureshi, R.H (2001). Genotypic variations o phosphorus utilization efficiency of crops. *Journal of Plant Nutrition*, 24(8):1149-1171.
- Amaral, J.F.T do, Martinez, H.E.P., Laviola, B.G., Fernandes Filho, E.I., Cruz, C.D. (2011) Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. *Ciência Rural*, 41 (4):621-629.
- Barber, S.A. (1995) *Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach*. 2.ed. New York, J. Wiley, 414p.
- Bailian, L., Mckeand, S.E., Allen, H.L. (1991) Genetic variation in nitrogen use efficiency of lobeolly pine seedlings. *Forest Science*, 37 (2):613-626.
- Beltrão, N.E.M. (1999) *O agronegócio do algodão no Brasil*. Brasília-DF: Empresa de Comunicação para Transferência de Tecnologia. 67p.
- Blair, G. (1993). Nutrient efficiency – what do we really mean In: Randall, P. J.; Delhaitze, E.; Richards, R. A., Munns, R. ed. *Genetic aspects of plants mineral nutrition*. Dondrecht: Klumer Academic. p.205-213. (Developments in Plant and Soil Sciences, 50).
- BRASIL, 2013. Disponível em <<http://www.brasil.gov.br>> Acesso em 31 de janeiro, de 2013.
- Bonato, C.M, Filho, C.J.R., Melges, E., Santos, V.D. dos (1998) *Nutrição Mineral de Plantas*. UEM - Universidade Estadual de Maringá. Maringá (PR). 60p.

- Bonomo, P. Cruz, C.D., Viana, J.M.S., Pereira, A.A, Oliveira, V.R. de, Carneiro, P.C.S. (2004) Avaliação de progênies obtidas de cruzamentos de descendentes do híbrido de Timor com as cultivares Catuaí Vermelho e Catuaí Amarelo. *Bragantia*, 63:207-219.
- Bourdeau, P.F. (1958) Photosynthetic and respiratory rates in leaves of male and female quaking aspens. *For. Sci.* 4:331--334.
- Borém, A.(2001) *Melhoramento de Plantas*. Viçosa : UFV.500p.
- Cardoso, P.M.R. (2010) *Análise biométrica da eficiência nutricional para nitrogênio em café (Coffea arabica L.)*. Dissertação de mestrado em Genética e melhoramento de plantas – Universidade Estadual do Norte fluminense-Darcy Ribeiro- UENF, Campos dos Goytacazes-RJ, 88p.
- Carvalho, A., Medina Filho, H.P., Fazuoli, L.C., Guerreiro Filho, O., Lima, M.M.A., (1991) Aspectos geneticos do cafeeiro. *Revista Brasileira de Genética*, 14 (1):135-183.
- Carvalho, C.H.S. (2008) *Cultivares de café: origem, caracterísiticas e recomendações*. 1. ed. Brasília: Embrapa Café, 334p.
- CIAT (1978) Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT. *Programa de fríjol*. Inf. Anual 1978. Cali, Colômbia, 12-13.
- Clarindo, W.R, Carvalho, C.R.(2008) First *coffea arabica* karyogram showing that this species is a true allotetraploid. *Plant Systematics and Evolution*, 274:237-241.
- CONAB (2013) Companhia Nacional de Abastecimento. Indicadores. Disponível em <<http://www.conab.gov.br/>> Acesso em 02 de março, de 2013.
- Cock, W.R.S., Tardin, F.D., Amaral Junior, A.T. do, Scapim, C.A., Amaral, J.F.T. do, Cunha, G. de M., Bressan-Smith, R.H., Pinto, R.J.B. (2003) Seleção de Genótipos de Alface Eficientes na Absorção do Fósforo. *Acta Scientiarum Agronomy*. Maringá, 25 (1):59-64p.
- Cruz, C.D., Carneiro, P.C.S. (2003) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: UFV, v.2, 585p.
- Cruz, C.D., Regazzi, A.J., Carneiro, P.C.S.(2004) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: UFV, 480 p.
- Cruz, C.D. (2006). *Programa Genes: Versão Windows; aplicativo computacional em genética e estatística*. 2. ed. UFV: Imprensa Universitária, 648p.
- Cruz, C.D., Regazzi, A.J., Carneiro, P.C.S. (2012) *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. Viçosa: UFV, 514 p

- Dias, N.L.P., Oliveira, E.J., Dantas, J.L.L. (2011) Avaliação de genótipos de mamoeiro com uso de descritores agronômicos e estimação de parâmetro genéticos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 46 (11):1471-1479.
- DNPM, 2012. Disponível em <<http://www.dnpm.gov.br/>> Acesso em 02 de março, de 2012.
- EMBRAPA, 2013. Disponível em <<http://www.sapc.embrapa.br/>> acesso 25/01/13.
- Epstein, E., Bloom, A.J. (2006) A. *Nutrição mineral de plantas; princípios e perspectivas*, 2.ed. Londrina: Editora Planta. 403p.
- Ernani, P.R., Almeida, J.A., Santos, F.C. (2007) Potássio. In: *Fertilidade do Solo*. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, Viçosa, 1017p.
- Fageria, N.K., Wright, R.J., Baligar, V.C.(1988) Rice cultivars response to aluminum in nutrient solution. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, 19:1133-1142.
- Fageria, N.K. (1989) *Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas*. Brasília: Embrapa-DPU. 425p. (Embrapa-CNPAC. Documentos, 18).
- Fageria, N.K., Baligar, V.C. (1993) Screening crop genotypes for mineral stresses. In: *Workshop on Adaptation of Plants to Soil Stresses*. Lincoln. Proceedings. Lincoln: University of Nebraska, p.142-159.
- Fageria, N.K. (1998) Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2 (1):6-16.
- Falconer, D.S.(1987) *Introdução à genética quantitativa*. Viçosa, MG: UFV, 279p.
- Falconer, D.S., Mackay, T.F.C. (1996) *Introduction to quantitative genetics*. 4th ed. London: Longman Green, 464 p.
- FAO, 2013. FAOSTAT Database Query. Disponível em <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em 02 de março, de 2013.
- Favarin, J.L., Dourado Neto, D., García Y García, A., Villa Nova, N.A., Favarin, M. da G.G.V. (2002) Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37:769-773.
- Fazuoli, L.C. *Avaliação de progênies de café Mundo Novo (Coffea arabica L.)*. (1977). Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- Fazuoli, L.C.(2004) Melhoramento Genético do Cafeeiro In: *x reunião itinerante de fitossanidade do Instituto biológico – café*. MOCOCA, SP, 175p.

- Ferrão, R. G.(2004) *Biometria Aplicada ao Melhoramento Genético do Café Conilon*. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa- MG, 256p.
- Ferrão, R.G., Cruz, C.D., Ferreira, A., Cecon, P.R., Ferrão, M.A.G., Fonseca A.F.A. da, Carneiro, P.C. de S., Silva, M.F. da (2008) Parâmetros genéticos em café Conilon. *Pesquisa agropecuária brasileira*. Brasília, 43 (1):61-69.
- Ferrari, R.B., Tomaz, M.A., Sakiyama, N.S., Da Matta, F.M., Cruz, C.D., Martinez, H.E.P., Zambolim, L., Rodrigues, J.C. (2001) Comparação do estado Nutricional de cafeeiros enxertados e não-enxertados em condições de campo. In: CD-ROM do *II Simpósio de pesquisas dos cafés do Brasil*, Vitoria-ES, 59-65.
- Ferreira, D.A., Carvalho, A.M. de, Mendes, A.N.G., Carvalho, G.R., Botelho, C.E., Carvalho, J.G. (2010) Absorção, Translocação e Eficiência no Uso dos Macronutrientes em Cafeiros (*Coffea arabica* L.) Enxertados em Apoatã IAC 2258 (*Coffea canephora*). *Interciencia*, Caracas, Venezuela, 35 (11):818-822.
- Freitas, Z.M.T.S. de, Oliveira, F.J. de, Carvalho, S.P. de, Santos, V.F.dos, Silva, G.C. (2009) Variabilidade e correlações genéticas em cultivares de café arábica. *Revista Brasileira de Ciência Agrária*, Recife, 4 (2):122-127.
- Freitas, Z.M.T.S. de, Oliveira, F.J. de, Carvalho, S.P. de, Santos, V.F.dos, Santos, J.P. de O. (2007) Avaliação de caracteres quantitativos relacionados com o crescimento vegetativo entre cultivares de café arábica de porte baixo *Bragantia*, Campinas, 66 (2):267-275.
- Furlani, P.R., Lima, M., Miranda, L.T., Miranda, L.E.C., Sawazaki, E., Magnavaca, R.(1986) Avaliação de linhagens materiais comerciais e duas populações de milho para tolerância a alumínio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 21:655-660.
- Furtini Neto, A.E. (1994). *Eficiência nutricional, cinética de absorção e frações fosfatadas em Eucalyptus spp.* 99f.
- Fox, R.H. (1978) Selection for phosphorus efficiency in corn. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 9:13-37.
- Gabelman, W.H., Gerloff, G.C. (1983) The search for and interpretation of genetic controls that enhance plant growth under deficiency levels of a macronutrient. *Plant Soil*, 72:335-350.
- Graham, R. D. (1984) Breeding for nutritional characteristics in cereals. In: Tinker, P. B.; Lauchli, A. *Advances in Plant Nutrition*. New York, Praeger, p.57-102.
- Gomes, J.M., Paiva, H.P. (2004) *Viveiros Florestais (propagação sexuada)*. Viçosa: UFV, 116p. (Caderno didático 72).

- Gouveia, N.M. (1984) *Estudo da diferenciação e crescimento das gemas florais de Coffea arabica L.: observações sobre antese e maturação dos frutos*. Dissertação (Mestrado em Biologia) – Instituto de Biologia, UNICAMP, Campinas, 237p.
- Guimarães, P.T.G., Reis, T.H.P. (2010) Nutrição e Adubação do cafeeiro. In: *Café Arábica do plantio à colheita*, Lavras: U.R. EPAMIG SM, 896p
- Guimarães, P.T.G., Nogueira, F.D., Malta, M.R., Dias, K.G. de L., Reis, T.H.P.,(2011) Nutrição do cafeeiro e sua relação com a qualidade do café. In: *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, 32 (261):39-51.
- Hallmark, W. B., Barber, S. A. (1981) Root growth and morphology, nutrient uptake, and nutrient status of soybean as affected by soil K and bulk density. *Agron. J.*, 73:779-782.
- IBRAM- (2012) *Informações e análises da economia mineral Brasileira*. 7ª edição organizado pelo Instituto Brasileiro de Mineração.
- Krug, CA. (1939). Genética de Coffea. Parte 1- Hereditariedade de um tipo anão-nana. Campinas, *Instituto Agrônomo*. 13p. (Boletim técnico, 47).
- Lashermes, P., Combes, M.C., Robert, J., Trouslot, P., D'hont, A., Anthny, F., Charrier, A. (1999). Molecular characterisation and origin of the *Coffea arabica* L. Genome. *Mol. Gen. Genet.* 261:259-266.
- Läuchli, A., Pflüger, R (1978). Potassium transport through plant cell membranes and metabolic role of potassium in plants. In: *International Potash Institute. Potassium research: review and trends*. Bern. p.111-163.
- Larcher, W. (2000) *Ecofisiologia vegetal*. São Paulo: Rima Artes e Textos, 531p.
- Laviola, B.G., Martinez, H.E.P., Souza, R.B. de, Salomão, L.C.C., Cruz, C.D., (2007) Acúmulo de Macronutrientes em frutos de cafeeiro em Viçosa- MG. In CD-ROM dos *Anais do Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, 5, Águas de Lindóia, SP. Brasília, D.F.: Embrapa - Café.
- Laviola, B.G., Martinez, H.E.P., Souza, R.B. de, Salomão, L.C.C., Cruz, C.D., Mendonça S.M., Rosado L. (2008) Acúmulo em Frutos e Variação na Concentração Foliar de NPK em Cafeeiro Cultivado em Quatro Altitudes *Bioscience. Journal.*, Uberlândia, 24 (10):19-31.
- Li, B., Mckeand, S.E., Allen, H.L. (1991) Geneetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. *Forest Science*, 37.(2):613-626.
- Lima, A.M.N., Neves, J.C.L., Silva, I.R., Leite, F.P.(2005) Cinética de Absorção e Eficiência Nutricional de K⁺, Ca²⁺ E Mg²⁺ em Plantas Jovens de Quatro Clones de Eucalipto. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 29:903-909.

- Macedo, C.M.P. de, Lopes, J.C. (2008) Qualidade fisiológica de semente de café arábica na presença de Alumínio. *Revista Brasileira de Sementes*, 30 (1):66-73.
- Malavolta, E., Vitti, G.C., Oliveira, S.A. (1997). *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba: POTAFOS. 319p.
- Malavolta, E. (2004) Potássio – absorção, transporte e redistribuição na planta. *Informações Agronômicas*, 108:16 p. (POTAFOS. Encarte Técnico).
- Malavolta, E. (2006). *Manual de nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Agronômica Ceres. 638p.
- Matiello, J.B. et al.(2010) *Cultura de Café no Brasil: manual de recomendações*. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFE, 542 p.
- MAPA (2012). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Produção de grãos*. Brasília, Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 29/11/12.
- Marenco, R.A.; Lopes, N.F. (2005) *Fisiologia Vegetal: Fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral*. Editora UFV. Viçosa, MG. 451pp.
- Martin, P. (1989) Long-distance transport and distribution of potassium in crop plants. In: *International Potash Institute. Methods of K-research in plants. Proceedings of the 21st Colloquium*, Louvain-la-Neuve. Bern, p. 83-100.
- Marschner, H. (1986) *Mineral nutrition of higher plants*. London: Academic Press, 647p.
- Marschner, H. (1995) *Mineral nutrition of higher plants*. 2. ed. New York: *Academic Press*, 889p.
- Martinati, J. de C., Molina, J.V.D., Bonturi, N., Martarello, F.H.H. Guerreiro Filho, O., Maluf, M.P. (2009) Expressão de genes relacionados ao metabolismo de nitrogênio, fósforo e potássio em cafeeiros submetidos ao estresse biótico. In: CD-ROM do *VI Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, Consórcio Brasileiro de Pesquisas e Desenvolvimento do Café. Vitória-ES 6p.
- Martin, P. (1989) Long-distance transport and distribution of potassium in crop plants. In: *International Potash Institute. Methods of K-research in plants. Proceedings of the 21st Colloquium*, Louvain-la-Neuve. Bern, p. 83-100.
- Martins, D.S., Costa, A.F.S. (2003) *A cultura do mamoeiro: tecnologias de produção*. Vitória, ES. INCAPER, 497p.
- Melamed, R., Gaspar, J.C., Miekeley, N.(2009) Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solos tropicais. In:

- Lapidoloureiro, F. E. V.; Melamed, R.; Figueiredo Neto, J. (Ed.) *Fertilizantes: agroindústria e sustentabilidade*. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. p. 385-395.
- Mitchell, W. H., Tell, M.R. (1977) Winter-annual cover crops for no tillage corn production. *Agronomy Journal*, 69:569-573.
- Moura, W. de M.; Lima, P.C.; Martinez, H.E.P.; Paixão, G.P.; Sano, P.M.; Condé, A.B.T.; Pertel, J. (2007) Avaliação de cultivares de café em solução nutritiva com diferentes níveis de nitrogênio e potássio. CD-ROM dos *Anais do Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, 5, Águas de Lindóia, SP. Brasília, D.F.: Embrapa - Café, 4p.
- Neves, Y.P., Martinez, H.E.P., Souza, R.B., Amaral, J.F.T. (2005) Eficiência de produção de raízes e eficiência de uso na parte aérea de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu e Zn por quatro cultivares de cafeeiro arábica. CD-ROM dos *Anais do Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil*, 4, Londrina, PR. Brasília, D.F.: Embrapa – Café, 5p.
- Nogueira, F.D., Silva, E.B., Guimarães, P.T.G. (2001) Adubação potássica do cafeeiro: sulfato de potássio. Lavras. MG: *SOPIB*, 81p.
- Pedrosa, A.W. (2008) *Tolerância diferencial e eficiência nutricional de café arábica em relação à deficiência de zinco*. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Viçosa-MG - Universidade Federal de Viçosa – UFV, 104p.
- Pereira, J.B.D. (1999) *Eficiência nutricional de nitrogênio e de potássio em plantas de café (Coffea arabica L.)*. Tese (doutorado) – Viçosa-MG – Universidade Federal de Viçosa - UFV, 99p.
- Pezzopane, J.R. M., Júnior, M.J.P., Gallo, P.B.; Carmargo M.B.P. DE; Fazuoli, L.C. (2007) Avaliações fenológicas e agronômicas em café arábica cultivado a pleno sol e consorciado com banana 'prata anã'. *Bragantia*, Campinas, 66 (4):701-709.
- Pinto-Maglio, C.A.F. (2006) Cytogenetics of coffee. *Braz. J. Plant Physiol.*, 18(1):37-44.
- R Development core team. *A language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2006. Capturado em 28 de maio de 2012. On line. Disponível: <http://www.r-project.org>.
- Raina, S.N., Mukai, Y., Yamamoto, M., (1998) In situ identifies the diploid progenitor species of *Coffea arabica* (Rubiaceae). *Theor Appl Genet.*, 97:1204-1209.
- Ramalho, M.A.P., Santos, J.B., Pinto, C.A.B.P. (2004) *Genética na agropecuária*. 3. ed. Lavras: UFLA, 472p.

- Rao, R.C. (1952) *Advanced statistical methods in biometric research*. New York, John Wiley e Sons, 390p.
- Rigas, S., Debrosses, G., Haralampidis, K., Agulho, F.V., Feldmann, K.A., Grabov, A., Dolan, L., Hatzopoulos, P.(2001) *TRH1* encodes a potassium transporter required for tip growth in Arabidopsis root hairs. *The Plant Cell*, 13:139-151.
- Resende, A.V. de, Martins, É. de S., Oliveira, C.G. de, Sena, M.C. de, Machado, C.T.T., Kinpara, D. ., Oliveira Filho, E.C. de. (2006) Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas "in natura" na agricultura brasileira. *Espaço & Geografia*, 9 (1):19:42.
- Rodríguez-Navarro, A., Rubio, F. (2006) High-affinity potassium and sodium transport systems in plants. *Journal of Experimental Botany*. 57:1149–1160.
- Rodrigues, W.N., Tomaz, M.A., Ferrão, R.G., Ferrão, M.A. G., Fonseca, A.F.A. da, Miranda F.D. de (2012) Estimativa de parâmetros genéticos de grupos de clones de café conilon. *Coffee Science*, Lavras, 7 (2):177-186.
- Rozane, D.E., Prado, R.M., Franco, C.F., Natale, W. (2007) Eficiência de absorção, transporte e utilização de macronutrientes por porta-enxertos de caramboleira, cultivados em soluções nutritivas. *Ciência e agrotecnologia.*, Lavras, 31 (4):1020-1026.
- Sakiyama, N. S., Pereira, A. A., Oliveira, A. C. B., Tomaz, M. A., (2008) Avanços no melhoramento genético do café arábica. *In*: Tomaz, M. A, Amaral, J. F. T. do, Jesus Junior, W. C., Pezzopane, J. R. M., (Ed) Seminário para a sustentabilidade da Cafeicultura. Alegre, ES: UFES, Centro de Ciências Agrárias, 342p.
- Scott, A.J., Knott, M.A (1974) Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics*, Washington, 30:507-512.
- Semiring, H., Raun, W.N., Johnson, G.V. (1998) Nitrogen accumulation efficiency: relationship between excess fertilizer and soil-plantt biological activity in winter wheat. *Journal of Plant Nutrition*, 21 (6):1235-1252.
- Sera, T (2005) *Novas cultivares de café do IAPAR em preparação para lançamentos nos próximos anos*. Londrina, PR, 2p.
- Siddiqi, M.Y., Glass, A.D.M. (1981) Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*, New York, 4:289-302.
- Singh, D. (1981) The relative importance of characters affecting genetic divergence. *Ind. J. Genet. Plant Breed.*, 41(2):237-245.
- Scott, A.J., Knott, M.A (1974) Cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics*, Washington, 30:507-512.

- Silva, I.R., Furtini Neto, A.E., Vale F.R. et al.(1996) Eficiência Nutricional para Potássio em espécies florestais nativas. *Revista Brasileira de Ciencia de Solo*. 20:257-264.
- Silva, F.S. (2006), *Melhoramento genético do mamoeiro (Carica papaya L.) pelo método convencional e molecular*. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darci Ribeiro- UENF. Campos dos Goytacazes/RJ. 156p.
- Swiader, J.M., Chyan, Y., Freiji, F.G. (1994) Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. *Journal of Plant Nutrition*, 17 (10):1687 – 1699.
- Taiz, L., Zeiger, E. (2008) *Fisiologia Vegetal*. 4ed. Porto Alegre: Editora
- Tomaz, M.A, Souza, C.M. de, Sakiyama, N.S (2001) Avaliação do sistema radicular em mudas. In: *II Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Consórcio Brasileiro de Pesquisas e Desenvolvimento do Café*. Vitória-ES, p. 87.
- Tomaz M.A., Sakiyama N.S., Martinez HEP, Cruz C.D., Pereira A.A., Freitas R.S. de (2005) Porta-enxertos afetando o desenvolvimento de plantas de *Coffea arabica* L.. *Ciência Rural*, 3:124-132.
- Tomaz, M.A., Amaral, J.F.T. do (2008) Eficiência Nutricional em Plantas. In: Polanczyk, R. A. et al. 1. ed *Estudos Avançados em Produção Vegetal*. Alegre, ES:. UFES, Centro de Ciências Agrária, 1:300p.
- Tomaz, M.A., Martinez, H.E.P., Cruz, C.D., Ferrari, R.B., Zambolim, L., Sakiyama, N.S. (2008) Diferenças genéticas na eficiência de absorção, na translocação e na utilização de K, Ca e Mg em mudas enxertadas de cafeeiro. *Ciência Rural*, Santa Maria, 38 (6):1540-1546.
- Vance, C.P. (2001) Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition: plant nutrition in a world of declining renewable resources. *Plant Physiology*, Minneapolis, 127 (2):390-397.
- Vencovsky, R., Barriga, P.(1992) Genética biométrica no fitomelhoramento. Ribeirão Preto: *Revista Brasileira de Genética*, 496p.
- Vose, P.B. (1987) Genetical aspects of mineral nutrition – progress to date. In: Gabelman, H.W.; Louhman (Eds.). *Genetic aspects of plant mineral nutrition*. Boston: Lancaster, p.3-13.
- Zhang Z, Tian X, Duan L, Wang B, He Z, Li Z (2007) Differential responses of conventional and Bt-transgenic cotton to potassium deficiency. *J Plant Nutr* 30:659–670.

6. APÊNDICES

APÊNDICE A

Tabela 10- Conteúdo potássio caule (CKC), conteúdo potássio raiz (CKR), conteúdo potássio folha (CKF), conteúdo potássio parte aérea (CKPA), conteúdo potássio total (CKT), de 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com dose de potássio (K) adequada (+K) 4,0 mmol.L⁻¹ e baixa (-K) 1,5 mmol.L⁻¹

Cod	Cultivares	CKC		CKR		CKF		CKPA		CKT	
		-K	+K	-K	+K	-K	+K	-K	+K	-K	+K
1	Catuai Amarelo IAC 62	47,79 A	74,297 A	25,78 B	63,38 B	166,03 A	246,90 A	213,82 A	321,20 A	239,60 A	384,58 A
2	Paraíso MG H 419-1	36,80 B	72,241 A	34,29 B	68,86 B	104,39 B	219,29 A	141,18 B	291,53 A	175,47 B	360,39 A
3	Icatu Vermelho 4045	38,83 B	52,570 B	21,59 B	44,34 C	71,49 B	133,99 A	110,31 B	186,56 B	131,90 C	230,90 B
4	Obatã IAC 1669/20	51,10 A	88,031 A	42,92 A	56,56 C	105,48 B	206,47 A	156,58 B	294,50 A	199,50 B	351,06 A
5	Caturra Amarelo	52,10 A	74,841 A	39,98 A	63,39 B	94,55 B	219,26 A	146,65 B	294,10 A	186,63 B	357,49 A
6	IPR 102	47,96 A	83,578 A	41,78 A	53,57 C	94,80 B	239,74 A	142,76 B	323,32 A	184,54 B	376,89 A
7	Catuai Vermelho IAC 15	42,65 B	67,794 A	26,82 B	64,97 B	93,24 B	199,78 A	135,88 B	267,58 A	162,70 C	332,54 A
8	Rubi MG 1192	43,53 B	66,503 A	42,39 A	57,83 C	93,23 B	216,34 A	136,76 B	282,84 A	179,15 B	340,67 A
9	IPR 103	24,49 C	61,312 B	26,71 B	52,21 C	86,01 B	180,63 A	110,50 B	241,94 B	137,21 C	294,15 B
10	Araponga MG1	38,87 B	78,287 A	44,04 A	85,70 A	93,57 B	261,52 A	132,44 B	339,81 A	176,48 B	425,51 A
11	Topázio MG 1190	38,00 B	75,402 A	29,98 B	47,30 C	107,24 B	229,16 A	145,24 B	304,56 A	175,22 B	351,86 A
12	San Ramon	18,34 C	43,599 B	28,79 B	50,94 C	110,24 B	186,17 A	128,58 B	229,77 B	157,38 C	280,71 B
13	Icatu Precoce 3282	49,96 A	51,580 B	23,53 B	47,16 C	90,66 B	157,20 A	140,62 B	208,78 B	164,15 C	255,94 B
14	Tupi IAC 1669-33	51,60 A	58,828 B	43,54 A	79,78 A	104,05 B	247,83 A	155,65 B	306,66 A	199,19 B	386,44 A
15	Catucá 785/15	43,01 B	67,043 A	39,67 A	90,39 A	95,96 B	234,95 A	138,98 B	301,99 A	178,65 B	392,39 A
16	Acaiá Cerrado MG 1474	44,17 B	81,630 A	26,12 B	51,96 C	91,86 B	199,85 B	136,03 B	281,48 A	162,15 C	333,44 A
17	Oeiras MG 6851	38,74 B	51,547 B	23,59 B	44,31 C	87,72 B	169,48 B	126,46 B	221,02 B	150,04 C	265,33 B
18	São Bernardo	28,67 C	37,472 B	28,34 B	68,27 B	118,83 B	239,17 A	147,50 B	276,64 A	175,84 B	344,91 A
19	Pau Brasil MG1	40,31 B	65,894 A	27,26 B	64,36 B	110,32 B	252,72 A	150,63 B	318,61 A	177,89 B	382,97 A
20	Caturra Vermelho	42,80 B	72,948 Aa	33,08 B	71,21 B	90,15 B	214,43 A	132,94 B	287,38 A	166,02 C	358,59 A
	Média	40,990	66,270	32,510	61,330	100,490	212,740	141,480	279,010	173,990	340,340
	CV _e %	22,55		25,71		27,76		22,55		20,14	

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula pertencem a um mesmo grupo pelo critério de Scott-Knott, em nível de 5% de probabilidade

Tabela 11 - Teor de potássio na raiz, no caule, na folha, de 20 cultivares de café, cultivadas em solução nutritiva com dose de potássio (K) adequada (+K) 4,0 mmol.L⁻¹ e baixa (-K) 1,5 mmol.L⁻¹

Dose K mmol.L ⁻¹	GENÓTIPOS																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	-----Raiz (mg/g)-----																			
1,5 mmol.L ⁻¹	8,3	10,7	8,8	10,8	11,4	10,9	8,4	10,9	10,4	11,5	10,3	14,2	8,2	11,7	10,1	8,7	9,5	10,0	9,6	9,5
4,0 mmol.L ⁻¹	21,0	21,4	18,8	18,0	22,3	20,6	23,3	20,1	20,7	22,3	17,5	21,0	20,2	22,5	22,9	18,7	22,9	23,6	21,3	25,5
	-----Caule (mg/g)-----																			
1,5 mmol.L ⁻¹	9,2	9,8	9,6	8,1	8,5	8,4	8,5	7,8	8,9	8,2	9,0	11,0	9,6	8,4	8,6	8,4	10,2	8,6	8,9	8,6
4,0 mmol.L ⁻¹	16,3	15,3	13,7	13,3	15,2	15,9	15,0	16,4	16,6	14,7	16,7	20,4	14,4	12,1	13,4	15,6	15,1	13,0	14,5	16,8
	-----Folha (mg/g)-----																			
1,5 mmol.L ⁻¹	14,3	11,5	10,9	10,4	9,4	9,9	9,7	8,6	11,2	9,8	11,2	16,1	11,0	10,7	10,8	11,8	10,6	14,0	12,1	9,8
4,0 mmol.L ⁻¹	20,8	20,7	19,9	17,2	18,9	23,3	17,1	19,7	18,7	20,1	19,5	21,6	20,8	21,7	17,7	18,7	20,8	23,6	23,1	24,3

1) Catuaí Amarelo IAC 62; 2) Paraíso MG H 419-1; 3) Icatu Vermelho 4045; 4) Obatã IAC 1669/20; 5) Caturra Amarelo, 6) IPR 102, 7) Catuaí Vermelho IAC 15; 8) Rubi MG 1192; 9) IPR 103; 10) Araçuaia MG1; 11) Topázio MG 1190; 12) San Ramon; 13) Icatu Precoce 3282; 14) Tupi IAC 1669-33; 15) Catucaí 785/15; 16) Acaia Cerrado MG 1474; 17) Oeiras MG 6851; 18) São Bernardo; 19) Pau Brasil MG1; 20) Caturra Vermelho

APÊNDICE B

Tabela 4 - Dissimilaridade entre as cultivares estimadas pela distância de Mahalanobis (D^2) em relação as 15 características avaliadas.

C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1		77.6	350.1	43.4	293.5	105.0	33.3	114.1	41.2	44.9	207.4	426.7	698.9	334.3	95.4	394.4	63.4	258.8	42.3	35.5
2			305.3	42.8	96.6	21.4	35.6	26.3	88.8	47.5	44.8	206.4	466.8	131.5	36.4	314.4	177.0	93.4	20.9	34.4
3				339.2	440.6	332.6	327.2	411.5	390.4	392.5	358.8	752.3	174.0	600.5	363.7	16.4	280.6	617.0	330.5	350.2
4					177.8	37.8	44.0	56.0	76.8	34.7	139.7	342.6	597.9	198.2	54.6	361.7	111.9	194.9	27.0	32.6
5						65.0	194.3	72.5	330.8	201.2	22.1	141.3	369.3	18.4	103.3	394.8	467.9	70.0	142.5	181.2
6							65.2	22.9	129.7	53.6	43.1	212.0	461.3	86.3	24.4	333.8	206.0	96.6	33.6	48.5
7								55.8	45.6	38.5	122.8	299.7	596.1	235.6	51.6	356.7	118.4	159.2	18.5	12.6
8									119.8	47.0	53.6	168.9	548.4	89.4	21.8	411.3	237.1	66.6	33.1	37.7
9										33.3	231.2	394.0	780.9	366.5	91.6	453.9	56.7	244.6	51.9	32.2
10											145.6	322.0	684.0	223.5	31.8	432.0	105.1	167.7	26.1	10.5
11												134.4	357.7	55.4	73.7	335.4	356.7	51.4	90.6	122.1
12													705.5	124.6	211.0	710.3	632.4	55.1	246.2	286.8
13														525.5	536.7	106.8	739.1	634.7	558.6	621.4
14															122.2	552.3	535.7	57.2	168.8	212.0
15																372.6	184.2	92.8	20.8	24.8
16																	361.4	593.4	350.4	381.8
17																		450.9	122.2	103.4
18																			119.8	147.0
19																				10.0
20																				

C: Cultivares (1 = Catuaí Amarelo IAC 62; 2 = Paraíso MG H 419-1; 3 = Icatu Vermelho 4045; 4 = Obatã IAC 1669/20; 5 = Caturra Amarelo; 6 = IPR 102; 7 = Catuaí Vermelho IAC 15, 8 = Rubi MG 1192; 9 = IPR 103; 10 = Araponga MG1, 11 = Topázio MG 1190; 12 = San Ramon, 13 = Icatu Precoce 3282; 14 = Tupi IAC 1669-33; 15 = Catucaí 785/15; 16 = Acaia Cerrado MG 1474; 17 = Oeiras MG 6851; 18 = São Bernardo; 19 = Pau Brasil MG1; 20 = Caturra Vermelho)