

CARACTERIZAÇÃO NUTRICIONAL DE ACESSOS PROVENIENTES DA ETIÓPIA DE CAFÉ ARÁBICA

Tiago Benedito dos Santos¹, Anderson Rotter Meda², Renata Barrufaldi Sitta³, Eduardo Brandalize Vespero⁴, Marcos Antonio Pavan⁵, Pierre Charmentant⁶, Valéria Carpentieri- Pípolo⁷, Luiz Filipe Protasio Pereira⁸, Luiz Gonzaga Esteves Vieira⁹, Douglas Silva Domingues¹⁰

(Recebido: 22 de novembro de 2013; aceito: 30 de maio de 2014)

RESUMO: Devido à necessidade cada vez maior de cultivares que apresentem boa produtividade com impactos menores ao meio ambiente, a introgressão de características relacionadas ao uso eficiente de nutrientes minerais é uma estratégia relevante para o melhoramento genético do café. Nesse sentido, a caracterização de acessos provenientes do centro de origem da espécie é um importante subsídio para os programas de melhoramento visando à seleção de materiais de interesse para produção de novas cultivares. Objetivou-se, no presente trabalho, caracterizar a concentração de nove nutrientes minerais em 12 acessos de *Coffea arabica* L., provenientes da Etiópia, em casa de vegetação, visando identificar genótipos com acumulação diferencial de nutrientes minerais em folhas, caule e raízes. Com base nos parâmetros estabelecidos, o acesso E237/CAF032 apresentou acúmulo diferencial para P, em folhas e E565/CAF009, E386/CAF131 e E332/CAF023 apresentaram concentração diferencial de N, Zn e Mn em raízes, respectivamente. O presente trabalho selecionou um acesso com potencial eficiência para uso de P e outro com potencial eficiência para o uso de N, o que pode contribuir em futuros estudos de seleção de materiais que possam ser utilizados na introgressão de características relacionadas à eficiência nutricional.

Termos para indexação: Café, germoplasma, nitrogênio, fósforo.

NUTRITIONAL CHARACTERIZATION OF ARABICA COFFEE ACCESSION FROM ETHIOPIA

ABSTRACT: Due to the increasing need for cultivars with high yield and low environmental impact, the introgression of traits related to nutrient utilization efficiency is an important strategy for coffee breeding. In this way, the characterization of accessions from the center of origin is an important tool for breeding programs to gain insight on relevant genotypes with potential interest for production of new cultivars. This work aims to characterize nutrient concentration in 12 *Coffea arabica* L. wild accessions from Ethiopia, in greenhouse conditions, in order to identify genotypes displaying differential accumulation of mineral nutrients in leaves, shoots and roots. Based on the established criteria, Ethiopian access E237/CAF032 showed differential accumulation for P in leaves and E565/CAF009, E386/CAF131 and E332/CAF023 displayed more accumulation of N, Zn and Mn in roots, respectively. This study identifies one accession with potential more P use efficiency and one accession with potential more N use efficiency, which is an important contribution to identify *C. arabica* wild genotypes with potential traits related to nutritional efficiency.

Index terms: Coffee, germplasm, nitrogen, phosphorous.

1 INTRODUÇÃO

O café é um dos principais produtos agrícolas mundiais, com cultivo em mais de 80 países (MARRACCINI et al., 2012). O gênero *Coffea* é composto por 124 espécies (DAVIS et al., 2011) e a mais importante, em termos econômicos, é *C. arabica* L. O Brasil ocupa posição de destaque no agronegócio café, como o maior produtor e exportador mundial, e o segundo maior mercado consumidor. Com isso, o desenvolvimento de novas cultivares é essencial para a consolidação do agronegócio café.

Destaca-se que a base genética da maioria das cultivares de cafeeiro é proveniente de uma única progênie que havia sido cultivada na Europa, conforme revisado por Silvestrini et al. (2007). Mais notadamente, a maioria das cultivares brasileiras tem, em sua origem, as cultivares Mundo Novo e Catuaí, que apresentam poucas diferenças em nível molecular (VIDAL et al., 2010). A necessidade de ampliação da base genética utilizada no melhoramento de *C. arabica* levou a FAO a empreender, entre 1960 e 1970, missões de coleta de germoplasma no centro de origem do café arábica – a Etiópia – cujos acessos foram repassados a diversos centros de pesquisa (SILVESTRINI et al., 2007).

^{1,2,3,4,6,8,9,10}IAPAR - Laboratório de Biotecnologia Vegetal - Rodovia PR- 445 Km375 - 86047-902 - Londrina-PR
tiagobio02@yahoo.com.br, andersonmeda@gmail.com, re_sitta@hotmail.com, dudu-vespero@hotmail.com,
pierre.charmentant@cirad.fr, filipe.pereira@embrapa.br, lvieira@iapar.br, doug@iapar.br

⁵IAPAR - Laboratório de Solos - Rodovia PR- 445- Km375 - 86047-902 - Londrina-PR - mpavan@iapar.br

⁷Embrapa Trigo Rodovia BR-285 - Km 294 - Cx. P. 3081 - 99050-970 - Passo Fundo - RS - valeria.carpentieri-pipolo@embrapa.br

Dos 621 acessos coletados, 308 estão disponíveis no Instituto Agronômico de Campinas (IAC) (SILVESTRINI et al., 2007), dos quais aproximadamente 130 acessos foram repassados ao Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR). Parte da coleção já foi avaliada quanto a teores de cafeína (SILVAROLLA et al., 2000), resistência a nematóides (ANZUETO et al., 2001; BOISSEAU et al., 2009), qualidade da bebida (BERTRAND et al., 2006), diversidade molecular (SILVESTRINI et al., 2007) e plasticidade fenotípica, mas não existem informações sobre a resposta desses materiais frente à disponibilidade de nutrientes minerais.

Depois da mão de obra, o principal custo da produção cafeeira está no uso de fertilizantes (FEHR et al., 2012), em especial a adubação nitrogenada (MASCLAUX-DAUBRESSE et al., 2010). Com isso, a geração de novas cultivares que demandem menos insumos é um importante passo para a redução de custos na produção cafeeira, pela economia de fertilizantes, como também para a sustentabilidade ambiental. O sucesso do manejo nutricional das culturas depende de diversos fatores, como características químicas, biológicas e físicas do solo, além da influência do genótipo. De maneira geral, estudos de nutrição mineral em plantas focam-se apenas em um único ou poucos elementos químicos, ou na comparação de fases de desenvolvimento de um único genótipo; são raros os estudos que comparam vários elementos químicos simultaneamente em vários genótipos (BUESCHER et al., 2010). Embora o manejo agronômico visando à adequação do solo para a cultura do cafeeiro já esteja bem estabelecido, existem poucos estudos sobre o efeito do genótipo na adaptação a diferentes níveis de nutrientes. Em cafeeiro, estudos de suficiência nutricional foram realizados exclusivamente em genótipos cultivados (AMARAL et al., 2011; REIS, 2006).

Recentemente, Amaral et al. (2011) comparou a eficiência nutricional de quatro cultivares de café em condições de campo, o que permitiu apenas observar diferenças mais evidentes quanto à utilização de nutrientes minerais em condições de baixa disponibilidade. O estudo da composição mineral das plantas em função de fatores fisiológicos ou genéticos recebeu a recente denominação de ionoma (LAHNER et al., 2003; SALT et al., 2008; SINGH et al., 2013). No presente trabalho, objetivou-se avaliar o ionoma dos nutrientes minerais em 12 acessos da Etiópia e nas cultivares de *C. arabica* Bourbon, Catuaí Vermelho, IAPAR59, IPR98 e Mundo Novo em raízes, folhas e caules de plantas cultivadas em casa de vegetação, sob condições de suficiência nutricional para todos os genótipos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram selecionados 12 acessos da Etiópia de *C. arabica* mais divergentes quanto à origem geográfica e plasticidade fenotípica (Tabela 1), e as cultivares de *C. arabica* Bourbon, Catuaí Vermelho (IAC99), IAPAR59, IPR98 e Mundo Novo (IAC376-4). O experimento foi implementado em casa de vegetação, localizada anexa à Estação Experimental do IAPAR, Londrina, cujas coordenadas geográficas são: latitude 23°23'S, longitude 50°11'W e altitude 610 m.

Sementes provenientes de autofecundação foram germinadas em casa de vegetação, em caixas contendo areia esterilizada, onde foram mantidas até o estágio “orelha de onça”. Essas foram posteriormente transferidas para tubetes, contendo substrato agrícola MecPlant tipo Café 2 (Klabin, Brasil), onde foram mantidas até o aparecimento de dois pares de folhas verdadeiras (aproximadamente quatro meses). As plantas foram então transferidas para vasos de 4 L, contendo 2,6 kg do mesmo substrato. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos inteiramente casualizados com 17 tratamentos (genótipos) e cinco repetições, no qual um vaso com uma planta foi considerado uma repetição. As plantas foram fertirrigadas semanalmente (0,5 L por planta) com solução nutritiva com a seguinte composição (em μM): 800 K_2SO_4 , 250 MgSO_4 , 200 KH_2PO_4 , 500 CaCl_2 , 4000 NH_4NO_3 , 100 NaFeEDTA , 5 H_3BO_3 , 3 MnSO_4 , 2,5 ZnSO_4 , 0,1 CuSO_4 , 0,7 NaMoO_4 . Foram realizados tratamentos fitossanitários para a prevenção e controle de bicho-mineiro (0,5%; 3-(2-cloro-tiazol-5-ilmetil)-5-metil-[1,3,5] oxadiazinan-4-ilideno-N-nitroamina), ácaros (Abamectina - 0,05%), cercosporiose e ferrugem (1- p- chlorophenyl- 4,4- dimethyl- 3-(1H- 1,2,4- triazol- 1- ylmethyl) pentan- 3- ol - 0,2%). Após oito meses de crescimento (plantas de um ano de idade), em julho de 2010, as plantas foram separadas em folhas, caules e raízes. O material vegetal foi tratado com solução aquosa contendo 1% de ácido clorídrico (HCl) para descontaminação, seguida de dupla lavagem com água destilada. O material foi seco por 48 h a 65 °C, moído, passado em peneiras de 1mm e analisado quimicamente, conforme Miyazawa et al. (1999) quanto aos teores dos seguintes nutrientes minerais: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), cobre (Cu), zinco (Zn), boro (B) e manganês (Mn).

TABELA 1 - Acessos de *Coffea arabica* da coleção de germoplasma da Etiópia, mantidos no Instituto Agronômico do Paraná.

Acessos (FAO)	Número de coleção da Etiópia (IAC/IAPAR)
E007	CAF087
E037	CAF676
E038	CAF553
E124	CAF426
E237	CAF032
E261	CAF299
E272	CAF175
E287	CAF233
E327	CAF626
E332	CAF023
E386	CAF131
E565	CAF009

Os resultados foram normalizados para obtenção de uma escala “z-score” que indica o número de desvios-padrão em relação à média geral de cada nutriente, em cada tecido, de acordo com a fórmula descrita abaixo, descrita por Lahner et al. (2003):

$$z\text{-score} = \frac{(\text{média do genótipo}) - (\text{média de todos os genótipos})}{\text{desvio padrão da média de todos os genótipos}}$$

Índices acima de +1,5 ou abaixo de -1,5 demonstram que o material apresenta acumulação diferencial de nutrientes, mesmo em condições de suficiência nutricional, que pode então ser atribuído a uma provável origem genotípica (LAHNER et al., 2003). Os valores de z-score foram imputados no software Genesis v 1.7.6 (STURN, 2001), para classificação por clusterização hierárquica dos materiais e identificação de subgrupos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição mineral nos diferentes tecidos vegetais pode ser influenciada por vários fatores correspondentes à própria planta e ao ambiente: espécie, variedade, porta-enxerto, estágio vegetativo, idade da planta, distribuição, volume e eficiência do sistema radicular, produção pendente, variações climáticas, disponibilidade de água e nutrientes no solo, estado fitossanitário da planta, tipo e manejo do solo e interações entre os nutrientes (MARTINEZ et al., 2003). De maneira geral, os nutrientes são divididos de acordo com sua composição em massa seca.

Elementos que compõem mais de 0,1 % de massa são considerados macronutrientes (MAATHUIS, 2009). Nesse contexto, os resultados apresentados visam compreender a concentração de nutrientes minerais em uma situação na qual nenhum dos genótipos apresentou sintomas de deficiência nutricional, e as variações encontradas sejam essencialmente provenientes de características intrínsecas do genótipo. Na Tabela 2, são apresentadas as faixas de concentração de nutrientes de genótipos da coleção da Etiópia.

Na Tabela 2, o genótipo que apresentou menor concentração de B em folhas foi a cultivar Catuaí Vermelho, com 62,58 mg/Kg. Gontijo et al. (2007) observaram que os teores de B nas folhas das mudas do café variaram de 38,13 a 43,86 mg/Kg; para Gonçalves (2005), a faixa crítica foi de 37,53 a 48,93 mg/Kg, ou seja, ambos os trabalhos descritos acima apresentaram faixa crítica inferior à encontrada neste trabalho. Existem grandes variações no requerimento de B entre as espécies vegetais; por exemplo, plantas do gênero *Papaver* e o dente-de-leão (gênero *Taraxacum*), apresentam valores entre 80-100 mg kg⁻¹, em dicotiledôneas, de 20-70 mg kg⁻¹ e nas monocotiledôneas, de 5-10 mg kg⁻¹ (KIRKBY; RÖMHELD, 2007). Provavelmente, essas divergências decorrem de diferenças na composição da parede celular.

Com relação aos teores de cobre foliar, Gontijo et al. (2007) citam trabalho em que encontraram os níveis de 1,31 a 1,75 mg/Kg, próximos dos observados no presente trabalho.

TABELA 2 - Concentração (máx-min) de macro (g/Kg) e micronutrientes (mg/Kg) em folhas, caules e raízes de genótipos da Etiópia.

	Folha	Caule	Raiz
	máx - min		
N (g/Kg)	41,64 - 30,16	20,78 - 11,88	25,96 - 16,86
P (g/Kg)	12,08 - 4,55	8,52 - 4,72	4,07 - 2,74
K (g/Kg)	27,40 - 17,40	14,20 - 7,00	29,00 - 19,40
Ca (g/Kg)	16,94 - 11,42	6,93 - 3,87	6,76 - 2,78
Mg (g/Kg)	9,28 - 6,25	6,18 - 2,76	11,66 - 6,07
Cu (mg/Kg)	2,40 - 0,19	2,57 - 1,33	6,02 - 3,76
Zn (mg/Kg)	19,04 - 8,92	38,29 - 13,08	38,46 - 13,96
B (mg/Kg)	130,58 - 62,58	24,43 - 14,19	48,01 - 22,98
Mn (mg/Kg)	81,21 - 51,71	39,73 - 19,56	47,94 - 23,22

Observou-se que nove genótipos apresentaram concentrações inferiores a 1,31 mg/Kg: IPR98, IAPAR59, Catuaí Vermelho, E287/CAF234, E327/CAF626, E261/CAF299, E007/CAF087, E237/CAF032 e E565/CAF009. O genótipo com menor concentração foliar de cobre foi E332/CAF023 com 0,19 mg/Kg, valor representativamente inferior aos descritos por outros trabalhos.

No presente trabalho, observou-se que os teores de zinco são mais altos em caule e raiz (Tabela 2). Dentre os acessos e cultivares avaliados, a cultivar IAPAR59 e o acesso E386/CAF131 foram os materiais que apresentaram maiores concentrações de zinco, em caule e raiz (38,29 e 38,46 mg/Kg). Souza et al. (2001) determinaram as faixas críticas desse elemento em mudas das cultivares, Catuaí, Icatu e Mundo Novo entre 49,40 e 88,82 mg kg⁻¹. Nesse contexto, observa-se uma grande variabilidade na absorção de zinco por diferentes espécies perenes (*Cedrela fissilis Vell.*, 31,90 mg kg⁻¹) (PAIVA et al., 2003) e eucalipto (333,73 mg kg⁻¹) (SOARES et al., 2001). Reis Júnior e Martinez (2002), relatam que a cultivar Catuaí é mais eficiente na absorção, em função da matéria seca de raiz produzida. A mesma cultivar, segundo Souza et al. (2001), demonstrou ser mais eficiente na utilização de zinco, quando comparado com Icatu e Mundo Novo. Em condições de campo conforme Amaral et al. (2011), as cultivares de café que apresentam menores quantidades de nutrientes no caule acabam por investir mais fotoassimilados no crescimento e desenvolvimento de outros órgãos vegetativos.

Altas concentrações de manganês foram observadas nas raízes do acesso E332/CAF023, com 47,94 mg/Kg (Tabela 2). Zabini et al. (2007), avaliando quatro progênies de cafeeiros divergentes quanto à eficiência nutricional para zinco, observou que a progênie UFV 4066-5 apresentou acúmulo de manganês na raiz (106,95 mg/Kg). Sabe-se que plantas da espécie de *C. arabica* são mais tolerantes ao Mn do que as de *C. canephora* (WILLSON, 1987). O Mn é facilmente translocado através do xilema das raízes até as brotações, mesmo as localizadas nos ápices da planta (HORST; MARSCHNER, 1978), embora a translocação no floema seja limitada. Mesmo nos acessos de *C. arabica*, apresentando altas concentrações de Mn nas raízes, não ocorreram maiores danos à planta. Conforme revisado por Kirkby e Römheld (2007), a faixa crítica na maioria das espécies de plantas para a deficiência deste nutriente encontra-se no intervalo de 10 mg kg⁻¹ a 20 mg kg⁻¹. As diferenças na aquisição de Mn entre espécies de plantas podem estar relacionadas com a diferença em exsudação de carboxilados, no entanto, as diferenças entre cultivares dentro da mesma espécie ainda não são bem entendidas (MARSCHNER et al., 2003).

As menores concentrações de cálcio foram encontradas na raiz do café, 2,78 g/Kg (Tabela 2). As variações na eficiência no uso de cálcio em tecidos vegetais são pouco compreendidas, revisado por Thomaz et al. (2006). Os mesmos autores relatam que a eficiência nutricional, quanto ao Ca, pode ser variável. Laviola et al.

(2007), estudando a dinâmica de Ca e Mg em cultivares de *C. arabica*, sugerem que os níveis de adubação podem influenciar a concentração desses elementos em frutos e folhas, ao longo do período reprodutivo. Contudo, as concentrações observadas não foram influenciadas somente pelos níveis de adubação, mas também por outros fatores que determinam a taxa de distribuição dos elementos minerais nas plantas de cafeeiros. Frente a essas informações é possível verificar variação quanto à quantidade de Ca, nos diferentes tecidos analisados (Tabela 2). Quando ocorrem baixos teores de Ca_2^+ pode ser prejudicado o crescimento radicular. Com isso, as raízes exploram menos volume de solo, acarretando na menor absorção de água e nutrientes, prejudicando o desenvolvimento das plantas. Quando a concentração de Ca em tecidos é baixa, o crescimento radicular é prejudicado e menor volume de solo é explorado, assim há menor absorção de água e nutrientes, em detrimento do desenvolvimento das plantas. Ressalta-se que o Ca é absorvido pelas raízes como Ca_2^+ , sendo transportado principalmente por fluxo de massa (MIOTTO et al., 2008), além de ser o elemento mais abundante nas raízes, folhas e ramos (MALAVOLTA, 2006).

Normalmente, os pontos de crescimento de raízes e caules são vulneráveis à deficiência de Ca, que é pouco translocado das folhas mais velhas para as mais novas. No entanto, a deficiência de Ca pode causar a morte da célula e o sintoma de deficiência se manifesta, nas folhas mais novas do cafeeiro (PREZOTTI, 2001).

Recentemente, estudos moleculares têm demonstrado que o índice de z-score pode ser utilizado como medida de referência na identificação de genótipos com perfil de acúmulo diferencial de nutrientes (BAXTER et al., 2012; LAHNER et al., 2003). Nestes trabalhos, foi utilizado o índice de corte de 1,5, para mais ou para menos, o que permitiu a seleção de genótipos candidatos utilizados na identificação de genes candidatos envolvidos no acúmulo diferencial de nutrientes minerais. O presente trabalho utilizou esses parâmetros para avaliar diferentes genótipos em condições de suficiência nutricional, de modo a investigar o potencial genotípico de acúmulo de nutrientes minerais. Em folhas, o genótipo E237/CAF032 foi o único a apresentar acúmulo diferencial de nutrientes, com um z-score de +1,62 para fósforo (P) (Tabela 3).

O P é um elemento de grande importância para o desenvolvimento das plantas, devido à sua influência na fase reprodutiva da planta, aumentando o número de frutos e o teor total de sólidos solúveis (NEGREIROS et al., 2003). Além disso, o P apresenta um relevante papel na formação molecular de DNA e do RNA, bem como do ATP - adenosina tri-fosfato (SANDIM et al., 2008). Durante a síntese de proteínas e de aminoácidos é utilizado o N, porém, para a conclusão desse processo, é necessária a presença de P na forma de poder redutor e de nucleotídeos (ALVIM; BOTREL, 2001). É importante relatar que o desequilíbrio de P pode interferir negativamente na qualidade da bebida do café (MALAVOLTA, 2006).

Nenhum genótipo da Etiópia apresentou acúmulo diferencial de nutrientes no caule (Tabela 4). Entre as cultivares, IAPAR59 foi a que apresentou maior número de elementos com acúmulo diferencial, com índices de z-score acima de +1,5 em Ca, Mg, Zn, B e Mn (Tabela 4).

Ressalta-se que o caule é um órgão no qual predomina material estrutural em sua massa seca e a maioria dos elementos acumulados em IAPAR59 caracterizam-se pela baixa mobilidade no floema (FERNANDES, 2006) o que limita sua redistribuição por toda a planta (QUAGGIO et al., 2003). De maneira semelhante, a cultivar Catuaí Vermelho apresentou acúmulo diferencial dos micronutrientes Mg e Zn (Tabela 3). No cafeeiro, o Zn é um elemento de extrema importância, por interferir diretamente no crescimento e produção. O caule do cafeeiro pode ser local de armazenamento de Zn, mesmo que temporário e não somente local de transporte do nutriente (MARTINEZ et al., 2005), podendo ainda ser observada baixa mobilidade no floema do cafeeiro.

As cultivares IPR98 e Bourbon apresentaram diferenças significativas de z-score em macronutrientes, que costumam ser rapidamente mobilizados. IPR98 apresentou acúmulo diferencial de K (Tabela 4). O K é caracterizado pela alta mobilidade nas plantas, (célula e tecidos) e é transportado a longa distância via xilema e floema, por não fazer parte permanente de nenhum composto orgânico, faz parte da abertura e fechamento de estômatos, regulação osmótica, ativação enzimática, em que mais de 50 enzimas são dependentes do K para sua atividade normal (MALAVOLTA, 2006). No cafeeiro, a exigência por potássio aumenta conforme a idade da lavoura, e principalmente no período da frutificação.

TABELA 3 - Perfil ionômico nas folhas.

	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	B	Mn
IPR 98	0,51	-0,86	0,24	-0,81	-0,88	-0,27	0,11	-0,60	-0,34
IAPAR 59	0,65	-0,28	0,11	-0,43	-0,44	-0,49	0,87	0,08	0,39
Bourbon	-0,17	-1,43	1,18	-0,73	-1,11	0,29	-0,23	-0,14	-0,03
E038/CAF553	0,49	-0,05	-0,20	0,08	-0,07	0,23	-0,14	-0,22	-0,48
Catuai Vermelho	1,29	-0,71	1,13	-0,82	-1,14	-0,05	0,10	-1,23	-0,23
E272/CAF175	-1,20	-0,40	-0,43	0,21	0,83	0,77	-0,28	0,31	-0,83
E287/CAF234	0,50	-0,03	0,51	0,21	0,35	-0,08	-0,21	0,98	0,77
E327/CAF626	0,46	-0,31	-0,07	0,63	0,32	-0,11	-0,19	0,74	0,40
E037/CAF676	0,99	0,86	0,46	0,29	0,14	0,72	1,19	0,14	0,15
E124/CAF426	-0,16	-0,07	-1,05	0,79	0,94	0,33	-0,11	0,30	0,22
E261/CAF299	0,03	1,15	-0,34	-0,04	0,23	-0,39	-0,46	0,52	0,34
E007/CAF087	-0,92	-0,50	-0,47	-0,52	-0,74	-0,56	-0,18	-0,38	0,23
E237/CAF032	-0,75	1,66	-1,01	0,54	1,08	-0,63	-0,27	1,14	-0,22
Mundo Novo	-0,53	0,46	-0,38	1,22	1,30	0,99	-0,01	-0,35	0,11
E386/CAF131	-1,20	0,28	0,20	-0,43	-0,26	0,64	0,53	-0,21	0,57
E332/CAF023	0,19	0,51	0,33	-0,59	-0,51	-0,91	-0,53	-0,80	-0,34
E565/CAF009	-0,21	-0,29	-0,20	0,41	-0,04	-0,48	-0,18	-0,27	-0,71

Os valores representados referem-se ao “z-score”, que indica o número de desvios-padrão em relação à média geral de cada nutriente nas folhas. * Valores em negrito representam z-score acima de +1,5 e abaixo de -1,5.

TABELA 4 - Perfil ionômico no caule.

	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	B	Mn
IPR 98	0,99	-0,41	2,01	1,03	0,69	0,71	1,34	0,50	0,61
Iapar59	1,14	0,88	0,78	1,62	1,80	0,12	1,54	1,51	1,59
Bourbon	0,04	-1,67	0,25	0,53	-0,09	0,77	0,46	0,39	0,73
E038/CAF553	-0,09	-0,06	0,69	-0,45	-0,58	0,09	-0,53	0,35	-0,18
Catuai Vermelho	0,82	1,12	0,87	1,43	1,86	0,76	1,53	0,41	0,62
E272/CAF175	-0,27	-0,61	0,17	0,29	-0,34	0,71	-0,78	0,31	-0,29
E287/CAF234	1,18	0,22	-0,36	0,03	0,37	0,35	0,05	-0,83	-0,20
E327/CAF626	-0,30	-0,35	-0,01	-0,26	-0,08	0,96	-0,01	-0,55	0,85
E037/CAF676	0,13	1,24	-0,36	-0,22	0,57	-0,16	0,85	-0,48	0,16
E124/CAF426	-0,28	0,41	-0,36	-0,69	-0,69	-0,59	-1,16	0,28	-0,47
E261/CAF299	-0,23	0,05	-0,45	-0,60	-0,09	-0,36	-0,14	-0,38	-0,63
E007/CAF087	-1,32	-0,59	-0,10	-0,35	-0,60	-0,65	-0,51	-0,89	-0,87
E237/CAF032	0,38	-0,16	-0,71	-0,79	-0,11	-0,74	-0,22	-0,21	-0,98
Mundo Novo	-0,98	0,38	-0,80	-0,64	-0,57	0,12	-0,40	-0,17	-0,74
E386/CAF131	-0,70	-0,43	-1,15	-0,80	-1,10	-0,34	-1,01	-0,06	0,34
E332/CAF023	-0,88	-0,44	-0,62	-0,14	-0,86	-1,01	-0,42	-0,15	-0,10
E565/CAF009	0,38	0,43	0,17	0,02	-0,17	-0,74	-0,61	-0,02	-0,43

Os valores representados referem-se ao “z-score”, que indica o número de desvios-padrão em relação à média geral de cada nutriente nas folhas. * Valores em negrito representam z-score acima de +1,5 e abaixo de -1,5.

Na planta, ocorre a translocação de K das folhas adjacentes para os frutos, pois o elemento é muito móvel na planta. (GUIMARÃES; MENDES, 1997).

A única cultivar a apresentar acúmulo diferencialmente inferior de nutrientes no caule é Bourbon, com índice de -1,67 para P (Tabela 4). Devido à importância do P no metabolismo, é esperado que sua limitação possa afetar o desenvolvimento, principalmente do sistema radicular. As plantas aumentam a atividade do sistema de absorção de P de alta afinidade na membrana plasmática (RAGHOTHAMA; KARTHIKEYAN, 2005), com isso, a velocidade de absorção pode aumentar de duas a quatro vezes, dependendo da espécie (KERBAUY, 2004).

Em raiz, a cultivar Bourbon apresentou um acúmulo diferencial de Ca (Tabela 5). Já E565/CAF009 apresentou acúmulo para um macronutriente de grande importância – o Nitrogênio (Tabela 5). O N é quantitativamente o nutriente mais importante para as plantas, pois o seu fornecimento tem uma profunda influência sobre muitos aspectos relacionados ao crescimento e desenvolvimento, incluindo o crescimento das

raízes (KROUK et al., 2010; LIMA et al., 2010). Durante todo o ciclo fenológico, a capacidade de absorção e de assimilação do N pelo cafeeiro pode variar, observando um aumento na fase de expansão, porém, a maior necessidade se dá no estágio de granação dos frutos (PEZZOPANE et al., 2003). Os acessos da Etiópia, E386/CAF131 e E332/CAF023, também apresentaram concentração diferencial no tecido radicular para o Zn e Mn (Tabela 5).

A clusterização hierárquica é um instrumento relevante na seleção de grupos de genótipos que apresentam perfil nutricional semelhante. Essa estratégia já foi utilizada em trabalhos anteriores em líquenes (RAPOSO JÚNIOR et al., 2007) e alface (SANTOS et al., 2009). Por esse método, dividiu-se os materiais avaliados em quatro subgrupos (Figura 1).

As cultivares Bourbon, IPR98, IAPAR59 e Catuaí Vermelho foram classificados hierarquicamente em um mesmo grupo (Figura 1), evidenciando que todos os acessos da Etiópia possuem um perfil nutricional diferenciado em relação aos materiais melhorados.

A cultivar Mundo Novo foi a única que agrupou-se em grupo distinto em relação aos demais materiais melhorados (Figura 1).

TABELA 5 - Perfil ionômico na raiz.

	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	B	Mn
IPR 98	0,68	-0,69	0,15	0,20	-0,67	-0,03	0,00	0,20	-0,34
IAPAR 59	0,73	-0,37	-0,29	0,41	-1,06	-0,57	0,00	0,22	0,00
Bourbon	0,74	0,40	-0,29	1,73	-0,70	-0,75	-0,39	1,20	0,52
E038/CAF553	-0,69	0,25	-0,73	-0,59	-1,19	-0,50	-0,47	0,16	-1,01
Catuaí Vermelho	0,76	-0,18	1,21	0,00	0,26	0,27	1,25	-0,02	-0,04
E272/CAF175	0,31	0,15	0,24	0,12	0,13	1,26	-0,40	-0,39	0,65
E287/CAF234	0,57	0,23	1,26	0,06	-0,22	-0,16	-0,42	-0,07	0,07
E327/CAF626	0,15	-0,16	0,42	-0,07	1,07	0,08	-0,16	-0,14	-0,02
E037/CAF676	-0,25	-0,20	-0,11	-0,16	0,07	-0,26	0,66	-0,06	-0,25
E124/CAF426	-0,47	0,31	-0,34	-0,50	-0,81	-0,34	-0,59	-0,28	-0,43
E261/CAF299	-1,02	0,03	-0,20	-0,13	0,85	-0,05	-0,45	-0,13	-0,21
E007/CAF087	-0,59	0,40	-0,51	-0,04	0,62	0,06	-0,36	-0,01	-0,31
E237/CAF032	-0,61	-0,29	-0,34	-0,03	1,46	-0,22	-0,23	-0,17	-0,39
Mundo Novo	-1,17	-0,57	0,15	-0,40	-0,21	0,79	-0,15	-0,35	-0,43
E386/CAF131	-0,56	-0,46	-0,87	-0,39	0,03	1,48	1,56	0,07	0,96
E332/CAF023	-0,29	0,20	-0,51	-0,08	-0,11	-0,62	-0,16	-0,09	1,56
E565/CAF009	1,72	0,95	0,77	-0,13	0,47	-0,44	0,32	-0,15	-0,35

Os valores representados referem-se ao “z-score”, que indica o número de desvios-padrão em relação à média geral de cada nutriente nas folhas. * Valores em negrito representam z-score acima de +1,5 e abaixo de -1,5.

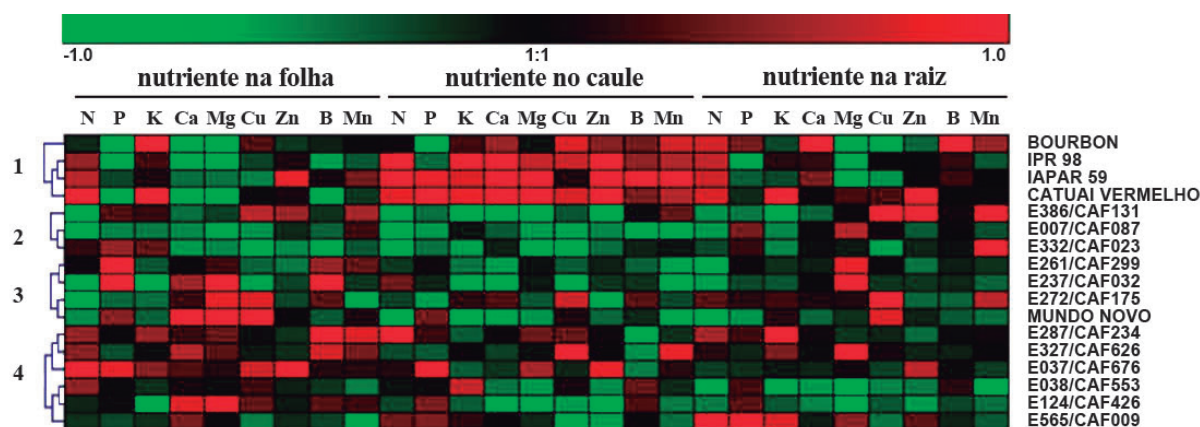


FIGURA 1 - Clusterização hierárquica da concentração de nutrientes em folhas, caule e raiz de genótipos de cafeeiros cultivados em casa de vegetação.

Os acessos da Etiópia subdividiram-se em três grupos (Figura 1). No grupo 2 estão os acessos E386/CAF131 e E332/CAF023, que possuem acúmulo diferenciado de nutrientes em raiz. Já no grupo 3 está o acesso E327/CAF032, que apresentou acúmulo diferencial de P em folhas. No grupo 4, o acesso E565/CAF009 apresenta acúmulo diferencial de N em raízes.

O acesso E272/CAF175 foi o que apresentou perfil mais semelhante a Mundo Novo, já que faz parte do mesmo subgrupo.

4 CONCLUSÕES

- O acesso E237/CAF032, é um material de interesse para plantas mais eficientes no acúmulo de P em folhas, e os acessos E565/CAF009, E386/CAF131 e E332/CAF023 são de interesse para acúmulo de N, Zn e Mn em raízes, respectivamente.

- O presente estudo traz bases para a identificação dos componentes moleculares envolvidos no acúmulo diferencial de nutrientes em cafeeiro, bem como aponta materiais potenciais para programas de melhoramento, visando maior desempenho de cultivares de cafeeiro em solos de baixa fertilidade.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Consórcio Pesquisa Café e Fundação Araucária, pelo apoio financeiro ao projeto, à CAPES e CNPq pela concessão de bolsas. L.F.P. Pereira e L.G.E. Vieira receberam bolsa de produtividade do CNPq.

6 REFERÊNCIAS

- ALVIM, M. J.; BOTREL, M. A. Efeitos de doses de nitrogênio na produção de leite em pastagem de coast-cross. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 577-583, mar. 2001.
- AMARAL, J. F. T. et al. Eficiência de utilização de nutrientes por cultivares de cafeeiro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 4, p. 621-629, 2011.
- ANZUETO, F. et al. Resistance to *Meloidogyne incognita* in Ethiopian *Coffea arabica* accessions. **Euphytica**, Wageningen, v. 118, p. 1-8, 2001.
- BAXTER, I. et al. Biodiversity of mineral nutrient and trace element accumulation in *Arabidopsis thaliana*. **PLoS One**, San Francisco, v. 7, p. 1-12, 2012.
- BERTRAND, B. et al. Comparison of bean biochemical composition and beverage quality of Arabica hybrids involving Sudanese-Ethiopian origins with traditional varieties at various elevations in Central America. **Tree Physiology**, Victoria, v. 26, p. 1239-1248, 2006.
- BOISSEAU, M. et al. Resistance to *Meloidogyne paranaensis* in wild *Coffea arabica*. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 34, n. 1, p. 38-41, 2009.
- BUESCHER, E. et al. Natural genetic variation in selected populations of *Arabidopsis thaliana* is associated with ionic differences. **Plos One**, San Francisco, v. 5, p. 1-10, 2010.
- DAVIS, A. P. et al. Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data: implications for the size, morphology, distribution and evolutionary.

- Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 167, p. 357-377, 2011.
- FEHR, L. C. F. et al. Análise temporal das variáveis de custos da cultura do café arábica nas principais regiões produtoras do Brasil. **Custos e @gronegocio Online**, São Paulo, v. 8, n. 1, jan./mar. 2012. Disponível em: <<http://www.custoseagronegocioonline.com.br>>. Acesso em: 10 mar. 2013.
- FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: UFV, 2006. 432 p.
- GONÇALVES, M. S. **Faixas críticas de teores foliares de nutrientes em mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) produzidas em tubetes**. 2005. 82 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.
- GONTIJO, R. A. N. et al. Faixas críticas de teores foliares de micronutrientes em mudas de cafeeiro. **Coffee Science**, Lavras, v. 2, p. 135-141, 2007.
- GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G. **Nutrição mineral do cafeeiro**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997.
- KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004.
- KIRKBY, E. A.; RÖMHELD, V. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 118, n. 2, p. 1-24, 2007.
- HORST, W. J.; MARSCHNER, H. Effect of silicon on manganese tolerance of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 50, p. 287-303, 1978.
- KROUK, G. et al. Nitrate-regulated auxin transport by NRT1.1 defines a mechanism for nutrient sensing in plants. **Developmental Cell**, Cambridge, v. 18, p. 927-937, 2010.
- LAHNER, B. et al. Genomic scale profiling of nutrient and trace elements in *Arabidopsis thaliana*. **Nature Biotechnology**, New York, v. 21, n. 10, p. 1215-1221, 2003.
- LAVIOLA, B. et al. Acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro em quatro altitudes de cultivo: cálcio, magnésio e enxofre. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, n. 6, p. 1451-1462, 2007.
- LIMA, F. S. et al. Earthworm compound and rock biofertilizer enriched in nitrogen by inoculation with free living diazotrophic bacteria. **World Journal of Microbiology Biotechnology**, Berlin, v. 27, p. 1-7, 2010.
- MAATHUIS, F. J. M. Physiological functions of mineral macronutrients. **Current Opinion in Plant Biology**, Oxford, v. 12, p. 250-258, 2009.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 2006. 638 p.
- MARRACCINI, P. et al. Differentially expressed genes and proteins upon drought acclimation in tolerant and sensitive genotypes of *Coffea canephora*. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 63, p. 1-22, 2012.
- MARSCHNER, H. et al. Manganese availability and microbial populations in the rhizosphere of genotypes differing in tolerance to Mn deficiency. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, Weinheim, v. 166, p. 712-718, 2003.
- MARTINEZ, H. E. P. et al. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 703-713, 2003.
- _____. Translocação e compartimentalização de Zn em função de doses aplicadas em feijoeiro e cafeeiro via radicular. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, p. 491-497, maio/jun. 2005.
- MASCLAUX-DAUBRESSE, C. et al. Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. **Annals of Botany**, Weinheim, v. 105, p. 1141-1157, 2010.
- MIOTTO, A. et al. Suprimento de cálcio, magnésio e potássio às raízes de soja cultivada em solo com saturações de magnésio na CTC. In: FERTILIDADE E BIOLOGIA DO SOLO: DESAFIOS PARA O USO DO SOLO COM EFICIÊNCIA E QUALIDADE AMBIENTAL, 2008, Londrina. **Resumos Expandidos...** Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008. 1 CD-ROM.
- MIYAZAWA, M. et al. Análise química de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. da (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, 1999. p. 171-223.

- NEGREIROS, M. Z. et al. Cultivo do melão no pólo Rio Grande do Norte/Ceará. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 3, p. 1, 2003.
- PAIVA, H. N. et al. Teor, conteúdo e índice de translocção de nutrientes em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) submetidas a doses crescentes de zinco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 1-10, 2003.
- PEZZOPANE, J. R. M. et al. Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro arábica. **Bragantia**, Campinas, v. 62, n. 3, p. 499-505, 2003.
- PREZOTTI, L. C. Fertilização do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa, MG: UFV, 2001. p. 607-615.
- QUAGGIO, J. A. et al. Fertilização com boro e zinco no solo em complementação à aplicação via foliar em laranjeira Pêra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 627-634, 2003.
- RAGHOTHAMA, K. G.; KARTHIKEYAN, A. S. Phosphate acquisition. **Plant and Soil**, The Hague, v. 274, p. 37-49, 2005.
- RAPOSO JÚNIOR, J. L. et al. Avaliação da concentração de alguns íons metálicos em diferentes espécies de líquens do cerrado sul-mato-grossense. **Química Nova**, São Paulo, v. 30, p. 582-587, 2007.
- REIS, A. R. Diagnóstico da exigência em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, Campinas, v. 65, p. 163-171, 2006.
- REIS JÚNIOR, R. A.; MARTINEZ, H. E. P. Adição de Zn e absorção, translocação e utilização de Zn e P por cultivares de cafeeiro. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 537-542, 2002.
- SALT, D. et al. Ionomics and the study of the plant ionome. **Annual Review in Plant Biology**, Palo Alto, v. 59, n. 1, p. 709-733, 2008.
- SANDIM, A. et al. Avaliação de altura de plantas e número de gemas por metro da cultivar RB 83-5486 de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) em diferentes 48 fontes fosforadas na adubação de base em Campo Grande, MS. In: FERTILIDADE E BIOLOGIA DO SOLO: DESAFIOS PARA O USO DO SOLO COM EFICIÊNCIA E QUALIDADE AMBIENTAL, 2008, Londrina. **Resumos Expandidos...** Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008. 1 CD-ROM.
- SANTOS, C. L. et al. Desempenho de cultivares de alface tipo crespa sob altas temperaturas em Cáceres-MT. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 23, p. 87-98, 2009.
- SILVAROLLA, M. B. et al. Caffeine content of Ethiopian *Coffea arabica* beans. **Genetics and Molecular Biology**, Ribeirão Preto, v. 23, p. 213-215, 2000.
- SILVESTINI, M. et al. Genetic diversity and structure of Ethiopian, Yemen and Brazilian *Coffea arabica* L. accessions using microsatellites markers. **Genetic Resources and Crop Evolution**, Dordrecht, v. 54, p. 1367-1379, 2007.
- SINGH, U. M. et al. Plant ionomics: a newer approach to study mineral transport and its regulation. **Acta Physiologiae Plantarum**, Poland, v. 35, p. 2641-2653, 2013.
- SOARES, C. R. F. S. et al. Toxidez de zinco no crescimento e nutrição de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 2, p. 339-348, fev. 2001.
- SOUZA, C. A. S. et al. Efeitos de doses de zinco via solo em três cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 4, p. 890-899, jul./ago. 2001.
- STURN, A. **Cluster analysis for large scale gene expression studies**. 2001. 71 p. Thesis (Master in Bioinformatic) - Graz University of Technology, Graz, 2001.
- TOMAZ, M. A. et al. Absorção, translocação e utilização de zinco, cobre e manganês por mudas enxertadas de *Coffea arabica*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 377-384, 2006.
- VIDAL, R. O. et al. A high-throughput data mining of single nucleotide polymorphisms in *Coffea* species expressed sequence tags suggests differential homeologous gene expression in the allotetraploid *Coffea arabica*. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 154, n. 3, p. 1053-1066, 2010.
- WILLSON, K. C. Mineral nutrition and fertilizer needs. In: CLIFFORD, M. M. N.; WILLSON, K. C. (Ed.). **Coffee: botany, biochemistry and productions of beans and beverage**. London: Croom Helm, 1987. p. 135-156.
- ZABINI, A. V. et al. Concentração de micronutrientes e características bioquímicas de progênies de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) eficientes no uso de zinco. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, n. 4, p. 95-103, 2007.