

PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA DE USO DE NUTRIENTES POR CULTIVARES DE CAFEIEIRO

José Francisco Teixeira do Amaral¹, Herminia Emilia Prieto Martinez², Bruno Galveas Laviola³, Marcelo Antonio Tomaz⁴, Elpidio Inácio Fernandes Filho⁵, Cosme Damião Cruz⁶

(Recebido: 18 de março de 2010; aceito: 31 de março de 2011)

RESUMO: A otimização da eficiência nutricional é de grande importância para ampliar a produtividade, reduzir o custo de produção e aumentar a renda do produtor. Foram avaliadas quatro cultivares de café arábica (*Coffea arabica* L.) (Acaiaí IAC 474-19, Icatu Precoce IAC 3282, Rubi MG 1192 e Catuaí Vermelho IAC 99) quanto à produtividade, à eficiência agrônômica e à eficiência de absorção de nutrientes. Foi conduzido um experimento em condições de campo, cujos tratamentos foram distribuídos em arranjo fatorial (4 x 3) x 4, constituído de quatro cultivares, três níveis de adubação (baixo, normal e alto) e quatro repetições, em delineamento experimental em blocos casualizados. As plantas que constituíram o nível normal receberam adubação baseada na marcha de acúmulo de nutrientes em café arábica. No período estudado (primeira colheita), a variedade Icatu Precoce IAC 3282 foi a mais produtiva no ambiente com restrição de nutrientes, enquanto as variedades Rubi MG 1192 e Catuaí Vermelho IAC 99 mostraram-se mais produtivas em ambientes com alto suprimento de nutrientes. Observou-se que a eficiência agrônômica acompanhou a produtividade, ou seja, as cultivares mais produtivas, foram também as que produziram mais frutos por unidade de nutriente na biomassa. Com baixas doses de fertilizantes e corretivos (nível baixo), a cultivar Icatu Precoce IAC 3282 inclinou-se a apresentar a melhor eficiência agrônômica quanto a todos os nutrientes estudados, e a Acaiaí IAC 474-19 inclinou-se a apresentar as piores.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L., nutrição mineral, eficiência nutricional.

PRODUCTIVITY AND EFFICIENCY OF NUTRIENT USE IN COFFEE CROPS

ABSTRACT: The optimization of the nutritional efficiency is of great importance to increase productivity, reduce production costs and increase income of the producer. Four cultivars of arabica coffee (*Coffea arabica* L.) were analysed; (Acaiaí IAC 474-19, Icatu Precoce IAC 3282, Rubi MG 1192 and Catuaí IAC 99) in terms of productivity, agronomic efficiency and efficiency of nutrient absorption. The experiment was conducted under field conditions, where treatments were distributed in a factorial (4 x 3 x 4), consisting of four cultivars, three fertilization levels (low, normal, high) and four replications in a randomized block design. Plants which constituted the normal level were fertilized based on the level of nutrient accumulation in arabica coffee. In the period studied (first harvest), the variety IAC Icatu Precoce 3282 was the most productive in environments with nutrient restrictions, while the varieties Rubi MG 1192 and Catuaí Vermelho IAC 99 were more productive in environments with high nutrient supply. It was observed that agronomic efficiency and productivity are related, i.e. the most productive cultivars were also those that produced more fruit per unit of biomass. With low doses of fertilizers and soil correctors (low level), the cultivar IAC Icatu Precoce 3282 has tended to present the best agronomic efficiency for all the studied nutrients, while Acaiaí IAC 474-19 tended to present the worst.

Keywords: *Coffea arabica* L., mineral nutrition, nutritional efficiency.

1 INTRODUÇÃO

A baixa produtividade das plantas cultivadas em muitos solos do mundo deve-se, em grande parte, ao excesso ou à deficiência de elementos minerais. Sabe-se que a acidez, a alcalinidade, a salinidade e a erosão promovem a degradação e a baixa fertilidade dos solos. Tanto a correção e a fertilização dos solos, quanto a utilização de técnicas adequadas de manejo são essenciais para alcançar boas produtividades.

Entretanto, a eficiência de recuperação dos nutrientes aplicados como fertilizantes é baixa: cerca de 50% para N, menos de 10% para P e, aproximadamente, 40% para K (BALIGAR; FAGERIA, 1998).

Esses fatores, dentre outros, leva à necessidade de se selecionar plantas eficientes na absorção e utilização dos nutrientes aplicados ao solo. Assim, a otimização da eficiência nutricional é de grande importância dado o elevado custo dos fertilizantes, imprescindíveis para o aumento da produtividade, de

¹Professor do Departamento de Engenharia Rural/UFES – 29500-000 Alegre, ES, jfamaral@cca.ufes.br;

²Pesquisadora do Departamento de Fitotecnia/UFV – 36570-000 Viçosa, MG, herminia@ufv.br;

³Pesquisador, Embrapa Agroenergia, Parque Estação Biológica - PqEB s/nº, 70770-901 - Brasília, DF, bruno.laviola@embrapa.br;

⁴Professor do Departamento de Produção Vegetal/UFES – 29500-000 Alegre, ES, tomaz@cca.ufes.br;

⁵Professor do Departamento de Solos/UFV – 36570-000 Viçosa, MG, elpidio@ufv.br;

⁶Professor do Departamento de Biologia Geral/UFV – 36570-000 Viçosa, MG, cdcruz@ufv.br.

modo particular em solos tropicais (FAGERIA, 1984, 1989, 1992; LOPES; GUILHERME, 1989). Na agricultura moderna, esse custo contribui, em média, com 30% do custo total de produção (FAGERIA, 1998).

A recomendação de adubação de uma cultura depende das demandas nutricionais das plantas para o crescimento vegetativo e reprodutivo e, também, deve-se levar em consideração a eficiência de aproveitamento dos adubos aplicados e a fração de nutrientes suprida pelo solo (LAVIOLA et al., 2007; PREZOTTI, 2001). Com base na capacidade das cultivares em produzir matéria seca relacionada à quantidade de nutrientes absorvidos e/ou assimilados, as plantas podem ser agrupadas em “eficientes” e “ineficientes” (VOSE, 1987). A eficiência nutricional em plantas pode estar relacionada à eficiência de absorção, translocação e utilização de nutrientes. A eficiência de absorção está relacionada à taxa de absorção de nutrientes por unidade de comprimento ou de massa de raiz, e pode ser avaliada em estudos de cinética de absorção de nutrientes (BALIGAR; FAGERIA, 1998).

Muitos conceitos sobre eficiência nutricional têm sido encontrados na literatura, variando a conceituação com o nutriente, a espécie e o pesquisador. Por essa razão, os mecanismos relacionados à aquisição e utilização de nutrientes devem ser bem interpretados para que equívocos não sejam cometidos em relação ao aumento de produtividade (TOMAZ; AMARAL, 2008). Entre os fatores que afetam a aquisição e a utilização de nutrientes pelas plantas, destacam-se as diferenças entre as cultivares. Assim, este trabalho avalia a produtividade e eficiência agrônômica e de utilização de nutrientes por quatro cultivares de café arábica (*Coffea arabica* L.) cultivadas na região da Zona da Mata de Minas Gerais.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas quatro cultivares de café arábica: Acaiá IAC 474-19, Icatu Precoce IAC 3282, Rubi MG 1192 e Catuaí Vermelho IAC 99, com três anos de idade.

O experimento constituiu-se de três níveis de adubação e correção da acidez do solo: baixo, normal (recomendado para a cultura) e alto. O delineamento experimental empregado foi em blocos completos

casualizados e os tratamentos foram distribuídos num arranjo fatorial 4x3, sendo quatro variedades de café e três níveis de adubação, com quatro repetições, totalizando 48 unidades experimentais (parcelas). Cada parcela foi constituída de 25 plantas, em espaçamento de 2 x 1 m dispostas em cinco fileiras, ocupando uma área de 50 m². As nove plantas dispostas no centro das três fileiras centrais da parcela foram consideradas como parcela útil. O experimento ocupou uma área total de 2400 m².

As plantas que constituíam o nível normal receberam N, P e K com base na marcha de acúmulo, considerando-se a média de nutrientes acumulados para as cultivares Mundo Novo e Catuaí. O Ca e Mg foram fornecidos via calcário dolomítico com base em análises de solo, considerando-se 60% de saturação em bases como ideal para o cafeeiro (GUIMARÃES et al., 1999). O enxofre foi fornecido como elemento acompanhante do fertilizante nitrogenado e fosfatado.

A aplicação de corretivos e fertilizantes para o nível normal constou do seguinte: a) Plantio: 20 g/cova de calcário dolomítico e 48 g/cova de P₂O₅; b) Pós-plantio: 8 g/cova de N em três aplicações, em intervalos de 30 dias e 20 g/cova de K₂O em duas aplicações, em intervalos de 30 dias; c) Correções e fertilização a partir do primeiro ano após o plantio: correção da acidez do solo - foi realizada anualmente mediante aplicação manual de calcário dolomítico na faixa de plantio, considerando-se uma profundidade de incorporação de 5 cm; adubação de primeiro, segundo e terceiro ano: foi realizada via fertirrigação, considerando-se uma eficiência de recuperação de 90% para o N, 80% para o K e 70% para o P. Os nutrientes N, P e K foram aplicados ao solo localizadamente pela utilização de fertirrigação por gotejamento, com o suporte do “software” SISDA^{café} (MANTOVANI; COSTA, 1998). O N foi fornecido pela aplicação alternada de sulfato de amônio, uréia e nitrato de amônio; o P pela aplicação de MAP (fosfato monoamônico); o K foi adicionado por meio do cloreto de potássio. Um quarto da exigência nutricional anual calculado foi aplicado no período de abril a agosto, e os ¾ restantes, de setembro a março; d) Micronutrientes: Zn, B e Cu foram supridos por meio de uma aplicação foliar anual, utilizando-se sulfato de zinco, ácido bórico e oxiclreto de cobre, na concentração de 4 g L⁻¹ para o nível normal.

Nos níveis baixo e alto, as plantas receberam, respectivamente, 0,4 e 1,4 vezes a recomendação feita para o nível normal.

O solo onde foi conduzido o experimento é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (Tabela 1).

Para avaliação da produtividade foram consideradas as nove plantas da unidade experimental, enquanto que para o estudo das eficiências nutricionais, foi utilizada uma planta em cada unidade experimental, cuja parte aérea foi fracionada em caule, ramos, folhas e frutos, sendo que as raízes foram obtidas por amostragem, no terceiro ano de cultivo das plantas.

As amostras da parte aérea foram identificadas, lavadas com água deionizada, acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada de ar, a 70 °C, até peso constante, conforme descrito por Jones Junior, Wolf e Mills (1991). A seguir, amostras dos materiais vegetais secos foram moídas em moinho tipo Wiley, de aço inoxidável, passadas em peneira de malha de 0,841 mm, e acondicionadas em sacos de papel, para posterior determinação dos teores e conteúdos dos elementos minerais.

Para se estimar o comprimento e a matéria seca de raízes, foram retiradas 12 amostras de raízes de uma planta em cada parcela, obtidas a distâncias de 15, 30 e 45 cm do tronco, no sentido dos quatro pontos cardeais, a 40 cm de profundidade, utilizando-se um trado cilíndrico de 4,5 cm de diâmetro. As amostras obtidas foram lavadas para separar as raízes do solo, identificadas e dispostas em lâmina de vidro para processamento das imagens em um microcomputador, ligado a um *scanner* HP Scanjet 4C. As imagens obtidas foram processadas pelo software *QUANTROOT* elaborado pelo Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, especialmente desenvolvido para determinação do comprimento de raízes. Depois de determinado o comprimento de raízes, os resultados foram extrapolados para o volume de solo ocupado pela planta (1,25664 m³), considerando-se esse volume igual ao de um cilindro com raio de 1 m (projeção da copa) e altura de 0,40 m.

Após o processamento das imagens, as amostras foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 70°C, até peso constante, para determinação

da matéria seca das raízes. Esse peso foi também extrapolado para o volume de solo ocupado pela planta. Foram, então, separadas amostras desse material para determinação dos teores e conteúdos dos nutrientes.

Uma amostra do material vegetal, seco e moído, foi submetida à digestão sulfúrica (JACKSON, 1958) e as amostras digeridas foram utilizadas para as análises dos teores de N orgânico. Outra amostra foi submetida à digestão nitroperclórica (JOHNSON; ULRICH, 1959), sendo analisado quanto aos teores de P, K, Ca, Mg, S, Cu e Zn. Outra parte do material vegetal foi submetido à extração com água, em banho-maria a 45 °C, durante 1 hora, para análise do nitrato.

O nitrato foi determinado por colorimetria (CATALDO et al., 1975), o N orgânico pelo método colorimétrico de Nessler (JACKSON, 1958), o P pelo método da vitamina C, modificado por Braga e Defelipo (1974), o K por fotometria de chama, enquanto que o Ca, o Mg, o Cu e o Zn foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica, sendo que o S foi avaliado por turbidimetria do sulfato (JACKSON, 1958). O B foi analisado após digestão das amostras por via seca (calcinação em mufla a 550°C) e foi determinado por colorimetria, pelo método da Azometrina-H (BINGHAM, 1982).

Os índices de eficiência nutricional foram obtidos a partir dos pesos da matéria seca e os teores de nutrientes de cada parte da planta, conforme as relações apresentadas a seguir (LI; MCKEAND; ALLEN, 1991; SIDDIQI; GLASS, 1981):

Eficiência agronômica (EA)

$$EA = \frac{(\text{Produção de café em coco})^2}{\text{Conteúdo de nutriente na planta toda}}$$

em g² mg⁻¹ e g² μg⁻¹ para macro e micronutrientes, respectivamente;

Eficiência de absorção de nutrientes (EAB)

$$EAB = \frac{\text{Conteúdo de nutriente na planta toda}}{\text{Comprimento de raiz}}$$

em mg m⁻¹ e μg m⁻¹ para macro e micronutrientes, respectivamente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando-se as médias de produtividade (Tabela 2), observa-se que elas alcançaram maiores valores no maior nível de adubação. As

cultivares Rubi MG 1192 e Catuaí Vermelho IAC 99 apresentaram produtividades mais elevadas nos níveis de adubação normal e alta, enquanto que o Acaíá IAC 474-19 foi a cultivar que apresentou a menor produtividade nos três níveis de adubação. A cultivar Icatu Amarelo IAC 3282 foi a mais produtiva no nível baixo de adubação, sendo que sua produtividade decresceu com o aumento das doses de nutrientes no solo. Sabe-se que a cultivar Icatu Amarelo é originada do cruzamento interespecífico entre as espécies *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner e *Coffea arabica* L. variedade Bourbon Vermelho, e que deve ter herdado algumas características de rusticidade inerentes ao cafeeiro robusta (MATIELLO et al., 2005). Pode-se sugerir, que o Icatu Precoce IAC 3282 seja uma cultivar com menor exigência nutricional, apresentando, ainda, maior eficiência de utilização de nutrientes em condições de baixo nível de adubação, em comparação com as demais cultivares.

Pesquisa realizada pela EPAMIG/UFLA/UFV/UFU, envolvendo comparação de produtividade de dez progênies de Catuaí Vermelho e Amarelo, em oito colheitas, indicou a cultivar Catuaí Vermelho IAC 99 como a mais produtiva (28,2 sacas de café beneficiado ha⁻¹) para as regiões do Rio Paranaíba-MG e do cerrado de Patrocínio-MG (ROMANIELLO et al., 1999). Embora neste trabalho a produtividade obtida refira-se á uma única colheita, o Catuaí Vermelho IAC 99 alcançou produtividade de 38,8 sacas de café beneficiado ha⁻¹. O Catuaí Vermelho IAC 99 vem se destacando também na região serrana do estado do Espírito Santo, com produtividade de 27 sacas de café beneficiado ha⁻¹ (FERRÃO et al., 2000).

No nível mais baixo de adubação, que corresponde a uma redução de 60% no fornecimento de adubos em relação ao recomendado para a cultura (normal), as cultivares Icatu Precoce IAC 3282 e Acaíá IAC 474-19 produziram, respectivamente, 30,2 e 12,4 sacas de café beneficiado ha⁻¹. Entretanto, no nível normal de adubação, as cultivares Rubi MG 1192 e Catuaí Vermelho IAC 99 apresentaram as melhores produções, sem diferir da cultivar Icatu Precoce IAC 3282, porém, superiores ao Acaíá IAC 474-19. Aplicando-se 1,4 vez a dose de adubo recomendada (nível alto), as cultivares Rubi MG 1192 e Catuaí

Vermelho IAC 99 destacaram-se, diferindo estatisticamente das cultivares Acaíá IAC 474-19 e Icatu Precoce IAC 3282. Dessa forma, nota-se que as cultivares Rubi MG 1192 e Catuaí Vermelho IAC 99, além de produtivas, apresentaram boas respostas à adubação. Essas cultivares aumentaram a produção em 60% e em 51% do nível baixo para o normal, e em 21% e em 29% desse para o nível alto, respectivamente. O Acaíá IAC 474-19 foi menos produtiva e alcançou incrementos na produção de 47,5% do nível baixo para o normal e de 41% desse para o nível alto. A produtividade do Icatu Precoce IAC 3282 apresentou uma redução de 20% do nível baixo para o nível normal, sendo que desse para o nível alto praticamente isso não variou. Nesse contexto, pode-se inferir que a cultivar Icatu Precoce IAC 3282 destacou-se, sendo mais produtiva que as demais, quando submetida a baixos níveis de adubação. As cultivares Rubi MG 1192 e Catuaí Vermelho IAC 99 foram as mais produtivas nos níveis normal e alto de adubação e responderam ao incremento de adubação, enquanto que a cultivar Acaíá IAC 474-19, embora responda bem à adubação, apresentou menores produções quando comparadas com as demais cultivares.

A eficiência agrônômica é um índice que relaciona produção de frutos em coco por unidade de nutriente na planta. De modo geral, observa-se que a eficiência agrônômica acompanhou a produtividade, ou seja, cultivares mais produtivas apresentaram também maiores produções de frutos por unidade de nutriente, na matéria seca total. Embora a cultivar Icatu Precoce IAC 3282 tenha se destacado em termos de produtividade, quando cultivada com baixos níveis de adubos, e a Acaíá IAC 474-19 tenha apresentado o pior desempenho nessas condições, a eficiência agrônômica não evidenciou diferença significativa entre essas cultivares (Tabela 3). Entretanto, em virtude dos elevados coeficientes de variação apresentados para essa variável, as diferenças entre médias não foram significativas. Como se trata da primeira colheita há uma variação na produção das diferentes cultivares, necessitando-se, portanto, de continuidade na avaliação dessa característica por um período de pelo menos quatro colheitas, para confirmar os resultados obtidos.

Quando cultivadas no nível normal de fertilização, as cultivares não apresentaram diferença

na capacidade produtiva por unidade de nutriente acumulado. Nessa condição, a cultivar Rubi MG 1192 apresentou maior produção de frutos por unidade de P e B na planta, enquanto que a Acaiá IAC 474-19 apresentou menor produção de frutos por unidade desses nutrientes (Tabela 3).

Quando submetidas ao nível alto de fertilizantes, destacaram-se as cultivares Catuaí Vermelho IAC 99 e Rubi MG 1192, com maior eficiência agrônômica (Tabela 3). O Catuaí Vermelho IAC 99 apresentou maior produção de frutos que as demais cultivares por unidade de N, P, S, K, Ca, Mg, Zn e B, acumulados na planta. Nessa condição, as cultivares Icatu Amarelo IAC 3282 e Acaiá IAC 474-19 apresentaram menor produção de frutos por unidade de P, S, Ca, Mg, Zn e B na planta, justificando assim as diferenças observadas nas produtividades.

Essas diferenças entre as cultivares não são atribuídas a diferenças na capacidade de absorção de nutrientes (AMARAL, 2002). Observa-se que não

houve diferença significativa entre cultivares na eficiência de absorção, ou seja, no conteúdo de nutriente na planta por comprimento de raiz, para todos os nutrientes em estudo, em todos os níveis (Tabela 4).

De acordo com Marschner (1991), plantas adaptadas aos solos de baixa fertilidade apresentam, em geral, altas concentrações de P e de outros nutrientes na parte aérea, como estratégia para evitar o estresse nutricional. Todavia, essas plantas não se caracterizam por uma alta eficiência de absorção, sendo os elevados teores de nutrientes na biomassa consequência de suas lentas taxas de crescimento, mesmo sob condições de melhor suprimento.

A eficiência agrônômica de P e B no nível normal (Tabela 3), pode justificar a maior produtividade da cultivar Rubi MG 1192 e a menor para Acaiá IAC 474-19, nesse mesmo nível, muito embora não se tenham encontrado diferenças significativas entre as cultivares com relação à aquisição de nutrientes (eficiência de absorção) que justifiquem esse comportamento (Tabela 4).

Tabela 1 – Características químicas do solo da área experimental, na profundidade 0-20 cm

pH em H ₂ O	P	K	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	SB	H + Al	CTC efetiva	CTC total	V	m
	-----mgdm ⁻³ -----			-----cmol _c dm ⁻³ -----						-----%-----		
5,6	17,6	92	8	1,94	0,72	0	2,94	2,69	2,94	5,63	52,2	0

SB = Soma de bases;

V (%) = porcentagem de saturação por bases;

m (%) = porcentagem de saturação por alumínio;

Al³⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ extraídos com KCl 1 mol L⁻¹; P e K extraídos com extrator biácido (HCl 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ 0,025 mol L⁻¹); pH em H₂O relação 1:2,5.

Tabela 2 – Produtividades médias de quatro cultivares de café arábica (*Coffea arabica* L.), com três anos de idade, submetidas a três níveis de adubação

Cultivar	Nível de adubação		
	Baixo	Normal	Alto
	----- sacas de café beneficiado ha ⁻¹ -----		
Acaiá IAC 474-19	12,4 B	18,3 B	25,8 B
Icatu Amarelo IAC 3282	30,2 A	25,2 AB	23,9 B
Rubi MG 1192	20,7 AB	33,2 A	40,1 A
Catuaí Vermelho IAC 99	19,9 AB	30,1 A	38,8 A

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na vertical não diferem estatisticamente entre si a 10%, pelo teste de Tukey.

Tabela 3 – Médias de eficiência agrônômica ($\text{g}^2 \text{mg}^{-1}$ e $\text{g}^2 \mu\text{g}^{-1}$, para macro e micronutrientes, respectivamente) de quatro cultivares de café arábica (*Coffea arabica* L.), cultivadas em três níveis de adubação

Nutriente	Cultivar	Nível de Adubação		
		Baixo	Normal	Alto
N	Acaiaí IAC 474-19	16,49 A	10,56 A	18,57 AB
	Icatu Amarelo IAC 3282	30,34 A	23,55 A	15,00 B
	Rubi MG 1192	23,99 A	28,48 A	32,22 AB
	Catuaí vermelho IAC 99	19,78 A	23,45 A	37,95 A
P	Acaiaí IAC 474-19	186,45 A	171,80 B	316,52 B
	Icatu Amarelo IAC 3282	413,11 A	394,83 AB	281,14 B
	Rubi MG 1192	253,62 A	467,03 A	624,85 A
	Catuaí vermelho IAC 99	231,46 A	390,09 AB	690,84 A
S	Acaiaí IAC 474-19	190,65 A	145,06 A	233,58 B
	Icatu Amarelo IAC 3282	361,66 A	307,41 A	186,43 B
	Rubi MG 1192	245,34 A	360,26 A	407,07 AB
	Catuaí Vermelho IAC 99	230,74 A	305,65 A	499,26 A
K	Acaiaí IAC 474-19	37,26 A	25,84 A	43,32 AB
	Icatu Amarelo IAC 3282	68,60 A	54,55 A	34,21 B
	Rubi MG 1192	56,97 A	71,58 A	79,14 AB
	Catuaí Vermelho IAC 99	42,67 A	55,17 A	85,68 A
Ca	Acaiaí IAC 474-19	40,19 A	30,53 A	65,82 BC
	Icatu Amarelo IAC 3282	74,89 A	67,58 A	55,18 C
	Rubi MG 1192	44,23 A	83,82 A	107,12 AB
	Catuaí Vermelho IAC 99	49,29 A	61,17 A	134,23 A
Mg	Acaiaí IAC 474-19	109,89 A	80,35 A	148,38 BC
	Icatu Amarelo IAC 3282	193,43 A	175,91 A	123,60 C
	Rubi MG 1192	139,74 A	210,59 A	270,35 AB
	Catuaí Vermelho IAC 99	132,01 A	166,65 A	324,75 A

Continua...

Tabela 3 – Continuação...

Nutriente	Cultivar	Nível de Adubação		
		Baixo	Normal	Alto
Cu	Acaiá IAC 474-19	11,18 A	11,95 A	14,87 A
	Icatu Amarelo IAC 3282	21,42 A	23,60 A	12,79 A
	Rubi MG 1192	15,26 A	26,15 A	27,78 A
	Catuaí Vermelho IAC 99	14,82 A	22,18 A	29,25 A
Zn	Acaiá IAC 474-19	14,23 A	10,61 A	21,16 B
	Icatu Amarelo IAC 3282	23,62 A	26,26 A	13,80 B
	Rubi MG 1192	26,33 A	28,07 A	33,72 AB
	Catuaí Vermelho IAC 99	14,18 A	22,06 A	46,64 A
B	Acaiá IAC 474-19	8,21 A	9,88 B	15,17 B
	Icatu Amarelo IAC 3282	17,60 A	24,06 AB	14,76 B
	Rubi MG 1192	10,07 A	25,02 A	32,38 A
	Catuaí Vermelho IAC 99	11,44 A	19,63 AB	33,80 A

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na vertical não diferem estatisticamente entre si a 10%, pelo teste de Tukey.

Tabela 4 – Médias de eficiência de absorção (mg m^{-1} e $\mu\text{g m}^{-1}$, para macro e micronutrientes, respectivamente) de quatro cultivares de café arábica (*Coffea arabica* L.), cultivadas em três níveis de adubação.

Nutriente	Cultivar	Nível de Adubação		
		Baixo	Normal	Alto
N	Acaiá IAC 474-19	0,0124 A	0,0142A	0,0118 A
	Icatu Amarelo IAC 3282	0,0077 A	0,0150 A	0,0087 A
	Rubi MG 1192	0,0105 A	0,0202 A	0,0107 A
	Catuaí Vermelho IAC 99	0,0140 A	0,0098 A	0,0143 A
P	Acaiá IAC 474-19	0,0010 A	0,0008 A	0,0006 A
	Icatu Amarelo IAC 3282	0,0005 A	0,0008 A	0,0004 A
	Rubi MG 1192	0,0009 A	0,0012 A	0,0005 A
	Catuaí Vermelho IAC 99	0,0012 A	0,0005 A	0,0008 A

Continua...

Tabela 4 – Continuação...

Nutriente	Cultivar	Nível de Adubação		
		Baixo	Normal	Alto
S	Acaia IAC 474-19	0,0010 A	0,0010 A	0,0009 A
	Icatu Amarelo IAC 3282	0,0006 A	0,0011 A	0,0006 A
	Rubi MG 1192	0,0009 A	0,0015 A	0,0008 A
	Catuaí Vermelho IAC 99	0,0012 A	0,0007 A	0,0010 A
K	Acaia IAC 474-19	0,0054 A	0,0055 A	0,0049 A
	Icatu Amarelo IAC 3282	0,0034 A	0,0064 A	0,0037 A
	Rubi MG 1192	0,0049 A	0,0079 A	0,0043 A
	Catuaí Vermelho IAC 99	0,0065 A	0,0041 A	0,0064 A
Ca	Acaia IAC 474-19	0,0051 A	0,0048 A	0,0036 A
	Icatu Amarelo IAC 3282	0,0032 A	0,0052 A	0,0023 A
	Rubi MG 1192	0,0048 A	0,0067 A	0,0033 A
	Catuaí Vermelho IAC 99	0,0057 A	0,0037 A	0,0041 A
Mg	Acaia IAC 474-19	0,0018 A	0,0019 A	0,0015 A
	Icatu Amarelo IAC 3282	0,0012 A	0,0020 A	0,0010 A
	Rubi MG 1192	0,0016 A	0,0027 A	0,0012 A
	Catuaí Vermelho IAC 99	0,0021 A	0,0014 A	0,0017 A
Cu	Acaia IAC 474-19	0,0190 A	0,0140 A	0,0140 A
	Icatu Amarelo IAC 3282	0,0115 A	0,0151 A	0,0101 A
	Rubi MG 1192	0,0152 A	0,0220 A	0,0123 A
	Catuaí Vermelho IAC 99	0,0186 A	0,0106 A	0,0183 A
Zn	Acaia IAC 474-19	0,0167 A	0,0136 A	0,0104 A
	Icatu Amarelo IAC 3282	0,0097 A	0,0143 A	0,0099 A
	Rubi MG 1192	0,0094 A	0,0210 A	0,0101 A
	Catuaí Vermelho IAC 99	0,0195 A	0,0105 A	0,0120 A
B	Acaia IAC 474-19	0,0244 A	0,0161 A	0,0143 A
	Icatu Amarelo IAC 3282	0,0135 A	0,0148 A	0,0094 A
	Rubi MG 1192	0,0210 A	0,0226 A	0,0108 A
	Catuaí Vermelho IAC 99	0,0239 A	0,0117 A	0,0168 A

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na vertical não diferem estatisticamente entre si a 10%, pelo teste de Tukey.

A maior ou menor produção de frutos por unidade de nutrientes na planta pode ser explicada por diferenças na eficiência de aquisição, de translocação e, ou, de utilização dos nutrientes. A aquisição de nutrientes depende da eficiência dos mecanismos de absorção e do volume de solo explorado pelas raízes, e pode ser avaliada pela eficiência de absorção e de produção de raízes. Por sua vez, a eficiência de utilização de nutrientes depende do seu transporte para a parte aérea e de sua exigência metabólica (MARSCHNER, 1995).

Cultivares mais eficientes na aquisição de nutrientes com baixos teores no solo são geralmente considerados melhor adaptados a tais condições. As variações na aquisição de nutrientes do solo podem ser atribuídas a fatores relacionados à função e estrutura do sistema radicular, incluindo características morfológicas, bem como mecanismos bioquímicos responsáveis pela transferência de íons nas membranas das células das raízes (AHMAD; GILL; QURESHI, 2001). Todavia, verifica-se que a absorção de nutrientes por unidade de comprimento de raízes não se alterou entre as cultivares nos diversos níveis de adubação (Tabela 4). Todas as cultivares comportaram-se semelhantemente, em todos os níveis de adubação, para todos os nutrientes, não havendo diferenças significativas entre as médias dos tratamentos.

De acordo com Bridgham et al. (1995) e Silva, Furtini Neto e Vale (1996), a eficiência de utilização diminui com o aumento da disponibilidade do nutriente no substrato, uma vez que, nessa condição, a produção de biomassa pelas plantas não sofre incremento na mesma proporção que a absorção e acúmulo do nutriente nos tecidos, havendo, nesse caso, um declínio na utilização interna do nutriente para a produção de biomassa (SIDDIQI; GLASS, 1981).

4 CONCLUSÕES

No período estudado (primeira colheita), a cultivar Icatu Precoce IAC 3282 é a mais produtiva sob baixo nível de adubação, enquanto as cultivares Rubi MG 1192 e Catuaí Vermelho IAC 99 são mais produtivas em ambientes com alto suprimento de nutrientes.

A eficiência agrônômica acompanha a produtividade, ou seja, as cultivares mais produtivas,

são também as que produzem mais frutos por unidade de nutriente na matéria seca.

Não se observam diferenças entre as cultivares quanto à eficiência de absorção de nutrientes na primeira colheita

5 AGRADECIMENTOS

Ao Consórcio Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (CNP&D-Café), pelo financiamento do projeto.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMAD, Z.; GILL, M. A.; QURESHI, R. H. Genotypic variations of phosphorus utilization efficiency of crops. *Journal of Plant Nutrition*, Monticello, v. 24, n. 8, p. 1149-1171, 2001.

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

BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K. Plant nutrient efficiency: towards the second paradigm. In: SIQUEIRA, J. O. et al. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p. 183-204.

BINGHAM, F. T. Boron. In: PAGE, A. L. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. Madson: American Society of Agronomy, 1982. p. 431-447.

BRAGA, J. M.; DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de P em extratos de solo e material vegetal. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 21, n. 113, p. 73-85, 1974.

BRIDGHAM, S. D. et al. Nutrient-use efficiency: a litterfall index, a model, and a test along a nutrient-availability gradient in North Carolina peatlands. *The American Naturalist*, Chicago, v. 145, n. 1, p. 1-21, 1995.

CATALDO, D. A. et al. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, v. 6, n. 1, p. 71-80, 1975.

FAGERIA, N. K. **Adubação e nutrição mineral da cultura de arroz**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1984. 341 p.

Coffee Science, Lavras, v. 6, n. 1, p. 65-74, jan./abr. 2011

- _____. **Maximizing crop yields**. New York: M. Dekker, 1992. 274 p.
- _____. Otimização da eficiência nutricional na produção das culturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 6-16, 1998.
- _____. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: Embrapa/CNPAP, 1989. 425 p.
- FERRÃO, M. A. G. et al. Comportamento de cultivares de café arábica na região serrana do Estado do Espírito Santo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2000, Poços de Caldas. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2000. p. 765.
- GUIMARÃES, P. T. G. et al. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 289-302.
- JACKSON, M. L. **Soil chemical analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 1958. 498 p.
- JOHNSON, C. M.; ULRICH, A. **Analytical methods for use in plants analyses**. Los Angeles: University of California, 1959. 33 p.
- JONES JUNIOR, J. B.; WOLF, B.; MILLS, H. A. **Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide**. Georgia: Micro-Macro, 1991. 213 p.
- LAVIOLA, B. G. et al. Dinâmica de cálcio em folhas e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 31, p. 319-329, 2007.
- LI, B.; MCKEAND, S. E.; ALLEN, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, Bethesda, v. 37, n. 2, p. 613-626, 1991.
- LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. Uso eficiente de fertilizantes. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 2., 1989, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1989. p. 1-58.
- MANTOVANI, E. C.; COSTA, L. C. Manual do SISDA 2.0. In: WORKSHOP INTERNACIONAL SOBRE MANEJO INTEGRADO DAS CULTURAS E RECURSOS HÍDRICOS, 1998, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: UFV, 1998. 153p.
- MARSCHNER, H. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. **Plant and Soil**, The Hague, v. 134, n. 1, p. 1-20, 1991.
- _____. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. New York: Academic, 1995. 889 p.
- MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de café no Brasil**. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFE, 2005. 438 p.
- PREZOTTI, L. C. Fertilização do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa, MG: UFV, 2001. p. 607-615.
- ROMANIELLO, M. M. et al. Pesquisa cafeeira na região do cerrado: resgate parcial da memória dos trabalhos realizados pelo Sistema Estadual de Pesquisa (EPAMIG/UFLA/UFV e UFU), na região. In: SEMINÁRIO DE CAFEICULTURA NO CERRADO, 9., 1999, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Epamig; UFLA; UFV, 1999. p. 5-6.
- SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 4, n. 3, p. 289-302, 1981.
- SILVA, I. R.; FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R. Eficiência nutricional para potássio em espécies florestais nativas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 257-264, 1996.
- TOMAZ, M. A.; AMARAL, J. F. T. **Eficiência nutricional em plantas: estudos avançados em produção vegetal**. Alegre: UFES, 2008. v. 1.
- VOSE, P. B. Genetical aspects of mineral nutrition: progress to date. In: GABELMAN, H. W.; LOUHMANN, K. (Ed.). **Genetic aspects of plant mineral nutrition**. Boston: Lancaster, 1987. p. 3-13.