

INTERRELAÇÕES ENTRE EFICIÊNCIAS NUTRICIONAIS EM *Coffea arabica* L.

José Francisco Teixeira do Amaral²; Herminia Emilia Prieto Martinez³; Cosme Damião Cruz⁴; José Augusto Teixeira do Amaral⁵; Marcelo Antonio Tomaz⁶

¹ Trabalho financiado pelo Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – CBP&D/Café

² Professor do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal do Espírito Santo, jfamaral@cca.ufes.br

³ Professora do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, herminia@ufv.br

⁴ Professor do Departamento de Biologia Vegetal da Universidade Federal de Viçosa, cdcruz@ufv.br

⁵ Professor do Departamento de Produção Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo, jata@cca.ufes.br

⁶ Professor do Departamento de Produção Vegetal da Universidade Federal do Espírito Santo, tomaz@cca.ufes.br

RESUMO: Foram estudadas as inter-relações de causa e efeito da eficiência nutricional de P, Zn e B em quatro variedades de café arábica (Acaia IAC-474-19, Icatu Amarelo IAC-3282, Rubi MG-1192 e Catuaí Vermelho IAC-99). O experimento foi conduzido em Viçosa – MG, em condições de campo, no delineamento experimental em blocos completos casualizados com quatro repetições. O objetivo deste estudo foi a aplicação dos procedimentos de análise de trilha para estabelecer interrelações entre eficiências nutricionais em café. Determinaram-se os teores e conteúdos de P, Zn e B em raízes, caule, ramos, folhas e frutos de plantas com trinta e um meses de idade. Avaliaram-se as inter-relações de causa e efeito entre a eficiência agrônômica, eficiência de produção de raízes, eficiência de absorção de nutrientes, eficiência de translocação de nutrientes e eficiência de utilização de nutrientes. Observam-se correlações positivas e significativas entre a eficiência agrônômica (produção de grãos por unidade de nutriente presente na planta) e a eficiência de utilização de P, e B. Por sua vez, a eficiência de produção de raízes correlacionou-se, significativamente e negativamente, com a eficiência de translocação, exceto para Zn.

Palavras-Chave: *Coffea arabica*, eficiência agrônômica, eficiência de uso, nutrição de plantas.

RELATIONSHIPS AMONG NUTRITIONAL EFFICIENCIES IN *Coffea arabica* L. CULTIVARS

ABSTRACT: Were studied the relationships among nutritional efficiencies of P, Zn and B in four varieties of *Coffea arabica* L. (Acaia IAC-474-19, Icatu Amarelo IAC-3282, Rubi MG-1192 e Catuaí Vermelho IAC-99). This study was carried out at Viçosa – MG, in field conditions. The objective of this study was the application of Path Analysis procedures to establish relationships among nutritional efficiencies in *Coffea arabica* L. Was evaluated the concentrations and contents of P, Zn and B in roots, branches, flowers and fruits of plants at thirty and one months of age. The Path Analysis was used to select the nutritional efficiencies variable which better explain the agronomic efficiency. It was observed the significative and positive relationships between the agronomic efficiency and the utilization efficiency of P and B.

Key words: *Coffea arabica*, agronomic efficiency, use efficiency, plants of nutrition.

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, alcalinidade, salinidade e erosão promovem a degradação e a baixa fertilidade dos solos. Por conseguinte, a correção e a fertilização dos solos, bem como a utilização de técnicas adequadas de manejo são essenciais para se ter boas produtividades. Entretanto, de modo geral, 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).

Tudo isto leva à necessidade de 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 modo particular em solos tropicais (Fageria, 1989, 1992; Lopes & Guilherme, 1989).

O termo eficiência nutricional é utilizado para caracterizar espécies de plantas, genótipos e cultivares em sua capacidade de absorver e utilizar nutrientes. A eficiência nutricional está também relacionada à produção econômica por unidade de fertilizante aplicado, e pode estar relacionada à eficiência de absorção, translocação e utilização de nutrientes (Baligar & Fageria, 1998).

O significado de eficiência nutricional ainda é matéria de discussão. Por essa razão, diversos equívocos podem ser cometidos em relação ao aumento de produtividade, caso não sejam bem identificados os mecanismos para incremento na aquisição e utilização do nutriente (Gourley et al., 1994).

Pouco se conhece sobre a eficiência nutricional de cafeeiros, embora muitas informações com relação à nutrição mineral sejam encontradas na literatura. Assim, este trabalho foi realizado com o objetivo de estudar as correlações entre eficiências nutricionais em cafeeiro por meio da análise de trilha.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em Área Experimental da Agronomia, localizada no Campus Universitário, pertencente à Universidade Federal de Viçosa. Foram utilizadas quatro variedades de café arábica: Acaíá IAC-474-19, Icatu Amarelo IAC-3282, Rubi MG-1192 e Catuaí Vermelho IAC-99.

O delineamento experimental foi em blocos completos casualizados, envolvendo as quatro variedades e quatro repetições.

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. Para tanto, foram medidas a produção de café em coco e os pesos da matéria seca e os teores de nutrientes de cada parte da planta. As amostras da parte aérea foram identificadas, separadas em caules, ramos, folhas e frutos, lavadas com água deionizada, acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa com circulação forçada de ar, a 70 °C, até peso constante. Posteriormente, obtiveram-se os pesos das matérias secas de cada parte da planta. A seguir, retiraram-se amostras dos materiais vegetais secos, as quais foram moídas em moinho tipo Wiley, de aço inoxidável, passadas em peneira de malha de 20 mesh, e acondicionadas em sacos de papel, para posterior determinação dos teores e conteúdos dos elementos minerais.

Foram determinados os teores de P, Zn e B e calculadas as eficiências nutricionais conforme a seguir:

1. Eficiência agrônômica (EA)

$$EA = \frac{(\text{Produção de café em coco})^2}{\text{Conteúdo de nutriente na planta}}, \text{ em g}^2/\text{mg e g}^2/\mu\text{g para macro e micronutrientes, respectivamente};$$

2. Eficiência de produção de raízes (EPR)

$$EPR = \frac{(\text{Matéria seca de raiz})^2}{\text{Conteúdo de nutriente na planta}}, \text{ em g}^2/\text{mg e g}^2/\mu\text{g para macro e micronutrientes, respectivamente.}$$

3. Eficiência de absorção de nutrientes (EAB)

$$EAB = \frac{\text{Conteúdo de nutriente na planta}}{\text{Área de raiz}}, \text{ em mg/cm}^2 \text{ e } \mu\text{g/cm}^2 \text{ para macro e micronutrientes, respectivamente.}$$

4. Eficiência de translocação de nutrientes (ET)

$$ET = \frac{\text{Conteúdo de nutriente na parte aérea}}{\text{Conteúdo de nutriente na planta}}, \text{ em g/g para macro e micronutrientes.}$$

5. Eficiência de utilização de nutrientes (EU)

$$EU = \frac{(\text{Matéria seca total})^2}{\text{Conteúdo de nutriente na planta}}, \text{ em g}^2/\text{mg e g}^2/\mu\text{g para macro e micronutrientes, respectivamente.}$$

No presente trabalho a análise de trilha é empregada para verificar quais medidas de eficiência nutricional mais influenciaram na eficiência agrônômica. Para tanto, estabeleceu-se um diagrama causal (Figura 1), no qual se considerou a eficiência agrônômica (EA) como característica básica ou principal. Neste diagrama causal evidenciando o interrelacionamento das variáveis analisadas, as setas unidirecionais indicam o efeito direto (coeficiente de trilha) de cada variável explicativa, enquanto as setas bidirecionais representam a interdependência de duas variáveis explicativas. Para as análises estatísticas utilizou-se o Programa Genes (Cruz, 2001).

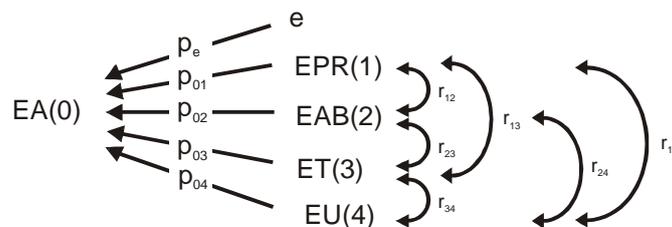


Figura 1. Diagrama de causa e efeito entre a variável básica (eficiência agrônômica – EA) e as variáveis explicativas (eficiência de produção de raízes (EPR), eficiência de absorção (EAB), eficiência de translocação (ET) e eficiência de utilização (EU)), para P, Zn e B; e = erro; p_e = efeito direto do erro sobre a eficiência agrônômica; p_{0i} = efeito direto da i-ésima eficiência sobre a eficiência agrônômica; e r_{ij} = correlação entre a i-ésima e a j-ésima eficiência.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para detalhar os efeitos das variáveis explicativas sobre a variável básica, obtiveram-se as correlações (Quadro 1) e o desdobramento das mesmas em efeitos diretos e indiretos, pela análise de trilha (Quadros 2, 3 e 4).

Quadro 1 - Correlações entre as variáveis explicativas (eficiência de produção de raízes (EPR), eficiência de absorção de nutrientes (EAB), eficiência de translocação de nutrientes (ET) e eficiência de utilização de nutrientes (EU)) da eficiência agrônômica (EA), de P, Zn e B, avaliadas em quatro variedades de café arábica

Nutriente	Eficiências	EPR	EAB	ET	EU
P	EA	-0,09	-0,26	0,27	0,62*
	EPR		-0,35	-0,92**	0,24
	EAB			0,36	-0,33
	ET				-0,15
Ca	EA	-0,16	-0,07	0,33	0,57**
	EPR		-0,33	-0,87**	0,19
	EAB			0,44	-0,02
	ET				0,04
Zn	EA	-0,11	-0,37	0,57*	0,55
	EPR		0,08	-0,56	0,14
	EAB			-0,30	-0,24
	ET				0,64*
B	EA	0,09	-0,34	-0,09	0,67*
	EPR		-0,51	-0,73**	0,46
	EAB			0,60*	-0,54
	ET				-0,56

*, ** - Significativo a 5 e 1%, pelo teste t.

Observam-se correlações positivas e significativas entre a eficiência agrônômica – EA (produção de grãos por unidade de nutriente presente na planta) e a eficiência de utilização (EU) de P e B (Quadro 1).

A eficiência de produção de raízes – EPR correlacionou-se, significativa e negativamente, com a eficiência de translocação (ET), exceto para Zn (Quadro 1). Isto sugere que o transporte mais eficiente de nutrientes para a parte aérea limitou a expansão do sistema radicular. Outrossim, estas correlações negativas confirmam a maior eficiência de produção de raízes do Acaia IAC-474-19 e sua menor eficiência de translocação, sendo que a cultivar Rubi MG-1192 exibe alta eficiência de translocação de Zn (Amaral, 2002).

As eficiências de utilização de P e B parecem interferir mais efetivamente na eficiência agrônômica do que a eficiência de utilização Zn, a qual apresenta correlação significativa e positiva com a eficiência de translocação (Quadro 1).

O estudo das correlações, apesar de fornecer informações úteis na quantificação da magnitude e direção das influências de fatores na determinação de caracteres complexos, não dá a exata importância relativa dos efeitos diretos e indiretos destes fatores. O conhecimento das correlações entre índices de eficiência nutricional é importante quando se deseja selecionar determinada eficiência nutricional, de fácil obtenção, e que apresenta alta correlação com a característica básica, previamente estabelecida. No entanto, alta correlação entre duas características pode ser resultado do efeito sobre estas, de uma terceira ou de um grupo de características. Daí a importância da análise de trilha, a qual permite um entendimento mais detalhado dessas correlações, conduzindo o pesquisador a conclusões mais precisas (Cruz & Regazzi, 1997).

Assim, com o intuito de melhor entender as inter-relações entre índices de eficiência nutricional, utilizou-se a análise de trilha, desdobrando as correlações estimadas em efeitos diretos e indiretos das características explicativas da variável básica (Quadros 2 a 4).

Quadro 2 - Efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas (eficiência de produção de raízes em relação ao P (EPR_P), eficiência de absorção de P (EAB_P), eficiência de translocação de P (ET_P) e eficiência de utilização de P (EU_P)) sobre a variável principal (eficiência agrônômica de P (EA_P)), em quatro cultivares de café arábica

Variável	Efeito	Estimativa
EPR_P	Direto sobre EA_P	0,6283
	Indireto via EAB_P	0,0806

	Indireto via ET_p	-0,9376
	Indireto via EU_p	0,1329
	Total	-0,0958
EAB_p	Direto sobre EA_p	-0,2306
	Indireto via EPR_p	-0,2197
	Indireto via ET_p	0,3686
	Indireto via EU_p	-0,1848
	Total	-0,2665
ET_p	Direto sobre EA_p	1,0184
	Indireto via EPR_p	-0,5785
	Indireto via EAB_p	-0,0834
	Indireto via EU_p	-0,0834
	Total	0,2731
EU_p	Direto sobre EA_p	0,5514
	Indireto via EPR_p	0,1515
	Indireto via EAB_p	0,0773
	Indireto via ET_p	-0,1540
	Total	0,6262*
R^2		0,62
Efeito Residual		0,6125

*, ** - Significativo a 5 e 1% pelo teste t.

Quadro 3 - Efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas (eficiência de produção de raízes em relação ao Zn (EPR_{Zn}), eficiência de absorção de Zn (EAB_{Zn}), eficiência de translocação de Zn (ET_{Zn}) e eficiência de utilização de Zn (EU_{Zn})) sobre a variável principal (eficiência agrônômica de Zn (EA_{Zn})), em quatro cultivares de café arábica

Variável	Efeito	Estimativa
EPR_{Zn}	Direto sobre EA_{Zn}	0,1552
	Indireto via EAB_{Zn}	-0,0166
	Indireto via ET_{Zn}	-0,2744
	Indireto via EU_{Zn}	0,0241
	Total	-0,1117
EAB_{Zn}	Direto sobre EA_{Zn}	-0,1951
	Indireto via EPR_{Zn}	0,0132
	Indireto via ET_{Zn}	-0,1480
	Indireto via EU_{Zn}	-0,0429
	Total	-0,3728
ET_{Zn}	Direto sobre EA_{Zn}	0,4894
	Indireto via EPR_{Zn}	-0,0870
	Indireto via EAB_{Zn}	0,0590
	Indireto via EU_{Zn}	0,1121
	Total	0,5735*
EU_{Zn}	Direto sobre EA_{Zn}	0,1749
	Indireto via EPR_{Zn}	0,0214
	Indireto via EAB_{Zn}	0,0478
	Indireto via ET_{Zn}	0,3138
	Total	0,5579
R^2		0,43
Efeito Residual		0,7524

*, ** - Significativo a 5 e 1% pelo teste t.

Quadro 4 - Efeitos diretos e indiretos das variáveis explicativas (eficiência de produção de raízes em relação ao B (EPR_B), eficiência de absorção de B (EAB_B), eficiência de translocação de B

(ET_B) e eficiência de utilização de B (EU_B)) sobre a variável principal (eficiência agrônômica de B (EA_B)), em quatro cultivares de café arábica

Variável	Efeito	Estimativa
EPR_B	Direto sobre EA_B	-0,0445
	Indireto via EAB_B	0,1048
	Indireto via ET_B	-0,3484
	Indireto via EU_B	0,3878
	Total	0,0997
EAB_B	Direto sobre EA_B	-0,2059
	Indireto via EPR_B	0,0226
	Indireto via ET_B	0,2881
	Indireto via EU_B	-0,4544
	Total	-0,3496
ET_B	Direto sobre EA_B	0,4757
	Indireto via EPR_B	0,0325
	Indireto via EAB_B	-0,1247
	Indireto via EU_B	-0,4748
	Total	-0,0913
EU_B	Direto sobre EA_B	0,8471
	Indireto via EPR_B	-0,0203
	Indireto via EAB_B	0,1104
	Indireto via ET_B	-0,2667
	Total	0,6705*
R^2		0,59
Efeito Residual		0,6386

*, ** - Significativo a 5 e 1% pelo teste t.

No diagrama causal (Figura 1), a variável básica eficiência agrônômica, relacionada à produção de café em coco por unidade de nutriente na planta, pode ser afetada por alguns fatores, como a produção de matéria seca de raiz, absorção, translocação e utilização de nutrientes. É de se esperar que cultivares que produzam mais matéria seca de raiz por unidade de nutriente na planta, bem como mais eficientes na absorção, translocação e utilização de determinado nutriente, alcancem maior eficiência agrônômica. Desta forma, a seleção de cultivares com maior EA poderia ser baseada na utilização de determinado índice de eficiência que compõe as variáveis explicativas da EA .

Observa-se que, para todos os nutrientes, as variáveis não explicaram totalmente a variação da variável básica (eficiência agrônômica – EA), traduzida por valores médios de coeficiente de determinação (R^2) (Quadros 3 e 4). As altas correlações encontradas entre os dois pares de caracteres (EA_{Zn} e ET_{Zn} ; e entre EA_P e EU_P) (Quadro 1), não medem relação de causa e efeito, uma vez que os efeitos diretos de EU_P e ET_{Zn} sobre EA (Quadros 2 e 3, respectivamente), não superam o efeito residual. Assim, prever a eficiência agrônômica quanto ao P (EA_P) e ao Zn (EA_{Zn}) de determinada cultivar por meio da eficiência de utilização de P (EU_P) e de translocação de Zn (ET_{Zn}), respectivamente, não constitui um procedimento adequado. A eficiência agrônômica, neste caso, pode estar sendo mais influenciada por outros fatores que não os envolvidos na translocação e utilização de nutrientes na planta.

O inverso é observado entre a EU_B e EA_B , para os quais se verifica que EU_B apresentou efeito direto sobre EA_B de 0,8471, superior ao efeito residual de 0,6386 (Quadro 4). Neste caso, cultivares eficientes na utilização de B tendem a exibir alta eficiência agrônômica.

Assim como para a eficiência de translocação de Zn e de utilização de P, prever a eficiência agrônômica quanto ao B pela eficiência de utilização de B não seria aconselhável, tendo em vista o modesto valor de coeficiente de determinação encontrado para estas características (Quadro 4).

De acordo com Cruz & Regazzi (1997), para que uma variável independente seja considerada importante sobre a variável dependente, é necessário que a magnitude do seu efeito direto seja maior do que o efeito da variável residual, além de que o coeficiente de correlação seja alto em valor absoluto.

CONCLUSÕES

Observam-se correlações positivas e significativas entre a eficiência agrônômica (produção de grãos por unidade de nutriente presente na planta) e a eficiência de utilização de P, e B.

A eficiência de produção de raízes correlacionou-se, significativa e negativamente, com a eficiência de translocação, exceto para Zn.

Dentre os índices de eficiências objeto desse estudo, não se detectou algum que pudesse ser indicado para prever o comportamento de determinada cultivar quanto à eficiência agrônômica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, J.F.T. **Eficiência de produção de raízes, absorção, translocação e utilização de nutrientes em cultivares de café arábica**. 2002. 97f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa-UFV, Viçosa.
- 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.
- CRUZ, C.D. **Programa Genes**: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa, MG: UFV, 2001, 648 p.
- CRUZ, C.D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa, MG: UFV, 1997. 394 p.
- FAGERIA, N.K. **Maximizing crop yields**. New York: Marcel Dekker, 1992. 274 p.
- FAGERIA, N.K. **Solos tropicais e aspectos fisiológicos das culturas**. Brasília: EMBRAPA/CNPAP, 1989. 425 p.
- GOURLEY, C.J.P.; ALLAN, D.L.; RUSSELIE, M.P. Plant nutrition efficiency: a comparison of definitions and suggested improvement. **Plant and Soil**, n.158, p. 29 - 37, 1994.
- 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.