

SEÇÃO IV - FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

USO DO DRIS NA AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DO CAFEIRO EM RESPOSTA À ADUBAÇÃO POTÁSSICA⁽¹⁾

E. B. SILVA⁽²⁾, F. D. NOGUEIRA⁽³⁾ & P. T. G. GUIMARÃES⁽³⁾

RESUMO

Foram realizados dois experimentos de campo nas Fazendas Experimentais da EPAMIG (MG) em um Latossolo Vermelho distroférico (LVdf) de São Sebastião do Paraíso e Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd) de Patrocínio, com o objetivo de avaliar o estado nutricional do cafeeiro por meio do índice de balanço nutricional fornecido pelo DRIS, em resposta à adubação potássica. Os experimentos foram instalados, utilizando-se delineamento de blocos casualizados com parcelas subdivididas, empregando-se nas parcelas três fontes de K: cloreto de potássio (KCl), sulfato de potássio (K₂SO₄) e nitrato de potássio (KNO₃) e, nas subparcelas, quatro doses de K (0, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹), com quatro repetições. Obtiveram-se as produções e os teores foliares dos nutrientes, durante o período de 1995 a 1998, para o cálculo do DRIS, com vistas em efetuar o diagnóstico nutricional do cafeeiro e a qualidade dos grãos (medida pela atividade enzimática da polifenoloxidase). Pelo DRIS, o diagnóstico do estado nutricional do cafeeiro foi consistente em avaliar a resposta à adubação potássica, em que o excesso dos nutrientes das fontes aplicadas influenciou mais intensamente a produção de grãos do que a qualidade da bebida do café.

Termos de indexação: café, potássio, fonte, dose, produção, qualidade, IBN.

⁽¹⁾ Trabalho apresentado na FertBio2000, Santa Maria (RS), de 22 a 26 de outubro de 2000. Trabalho desenvolvido com suporte financeiro da FAPEMIG e do Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café – CBP&D/CAFÉ. Recebido para publicação em março de 2001 e aprovado em dezembro de 2002.

⁽²⁾ Professor Adjunto das Faculdades Federais Integradas de Diamantina – FAFEID. Rua da Glória 187, CEP 39100-000 Diamantina (MG). E-mail: ebsilva@fafeod.br

⁽³⁾ Pesquisador do Centro Tecnológico do Sul de Minas – CTSM/EPAMIG. Caixa Postal 176, CEP 37200-000 Lavras (MG).

SUMMARY: *NUTRITIONAL STATUS OF COFFEE TREE EVALUATED BY DRIS IN RESPONSE TO POTASSIUM FERTILIZATION*

Two field experiments were conducted on two experimental EPAMIG Farms (Minas Gerais State), in order to evaluate the nutritional coffee status by the nutritional balance index (NBI) supplied by DRIS in response to potassium fertilization. The experimental design was a split plot scheme of randomized blocks, carried out on a Red Latosol distroferic (RLdf) of São Sebastião do Paraíso and a Yellow Red Latosol distrofic (YRLd) of Patrocínio. Three K sources were applied in the plots: potassium chloride (KCl), potassium sulfate (K_2SO_4), and potassium nitrate (KNO_3), and four K doses (0, 100, 200, and 400 kg ha⁻¹) in the subplots, with four repetitions. Yield and leaf nutrient contents were observed from 1995 to 1998 for the calculation of DRIS for a diagnosis of the nutritional state of the coffee plant, and of the grain quality (measured by polyphenyloxidase enzyme activity). The response to potassium fertilization was consistently evaluated by the nutritional state diagnosis of the coffee tree with DRIS, as grain yields were more intensely influenced by the nutrient excess of the applied sources than the coffee beverage quality.

Index terms: coffee, potassium, source, dose, yield, quality, NBI.

INTRODUÇÃO

Pouca importância tem sido dada ao estado nutricional do cafeeiro (*Coffea arabica* L.), procurando correlacioná-lo com a composição mineral e a formação de compostos orgânicos no grão e, conseqüentemente, com a qualidade da bebida (Amorim, 1970). Por outro lado, estudos para o diagnóstico dos fatores nutricionais que limitam a produção do cafeeiro arábica, com o objetivo de proporcionar um manejo mais adequado e reduzir os custos de exploração desta cultura, foram realizados por Arboleta et al. (1988), Nick (1998) e Costa (1999). Estes estudos foram efetuados utilizando-se o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS).

Geralmente, nos trabalhos existentes, os autores têm utilizado experimentos de adubação para avaliar a correlação com a qualidade da bebida do café. Amorim et al. (1973) encontraram alguma relação com adubação NPK, enquanto outros autores não obtiveram diferença com aplicação de doses crescentes de S (Malavolta, 1986) e de K na forma de nitrato de potássio (Santinato et al., 1996). Estes autores utilizaram a clássica “prova da xícara”, que é praticada por meio de provadores, a qual se tem mostrado uma avaliação subjetiva (Chagas et al., 1996), dificultando a separação da qualidade da bebida do café em experimentos desta natureza.

A qualidade dos produtos agrícolas não é facilmente definida ou medida, como se faz para a produção. O padrão de qualidade depende do propósito pelo qual a planta ou parte dela é utilizada (Mengel & Kirkby, 1987). No caso do cafeeiro, o mais importante seria o seu estado nutricional correlacionar-se com a qualidade da bebida, através de compostos orgânicos produzidos nos grãos (Amorim, 1970).

Relatos da correlação positiva entre a atividade da enzima polifenoloxidase dos grãos de café e a qualidade da bebida foram feitos por Amorim & Silva (1968). Aspecto confirmado posteriormente por Rotenberg & Iachan (1972), no Brasil, e por Sanint & Valência (1970), na Colômbia. Carvalho et al. (1994) verificaram ocorrer variações da atividade da polifenoloxidase que permitem separar as classes de bebida. Assim, os cafés “riado e rio” apresentam atividades inferiores a 55,99 U g⁻¹ de amostra; os cafés de bebida “dura” apresentam entre 55,99 e 62,99 U g⁻¹ de amostra; os cafés de bebida “mole” entre 62,99 a 67,66 U g⁻¹ de amostra e os cafés de bebida “estritamente mole” valores superiores a 67,66 U g⁻¹ de amostra, demonstrando aumento na atividade da enzima à medida que o café apresenta melhor qualidade de bebida.

Pela avaliação da atividade da polifenoloxidase, Arcila-Pulgarin & Valência-Aristizábal (1975) não encontraram diferenças na qualidade dos grãos de café, cujas plantas foram adubadas com potássio. Entretanto, em trabalho recente, Silva et al. (1999) encontraram maior atividade da polifenoloxidase ao aplicar o sulfato de potássio em relação ao cloreto de potássio e ao sulfato duplo de potássio e magnésio. Estes trabalhos abordaram as adubações potássicas do cafeeiro em relação à qualidade da bebida, sem correlacioná-la, no entanto, ao estado nutricional das plantas. Pela diagnose foliar, podem-se avaliar o estado e o equilíbrio nutricional de uma planta, uma vez que o teor do nutriente é resultante da ação e da interação dos fatores que influem em sua disponibilidade no solo e sua absorção pela planta.

O Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), desenvolvido por Beaufils (1973), tem sido apontado como uma alternativa para a interpretação do estado nutricional das plantas (Sumner, 1977), apresentando, como vantagem, o fato de minimizar

os efeitos de diluição e de concentração dos nutrientes (Jarrel & Beverly, 1981). Este método avalia mais precisamente as interações nutricionais informando a ordem de limitação dos nutrientes, tanto por deficiência, quanto por excesso, além da intensidade da exigência. O DRIS fornece o índice de balanço nutricional (IBN), que corresponde ao somatório dos valores absolutos dos índices DRIS de cada nutriente, permitindo-se comparar o equilíbrio nutricional global da planta, sendo tanto menor o seu valor quanto maior o equilíbrio na planta.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o estado nutricional do cafeeiro por meio do DRIS em resposta à adubação potássica.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos nas Fazendas Experimentais da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado de Minas Gerais (EPAMIG). Um experimento foi instalado em Latossolo Vermelho distroférrico (LVdf) (EMBRAPA, 1999), fase floresta tropical subperenifolia transicional para Cerrado, em São Sebastião do Paraíso (MG). A altitude da sede do município é de 940 m, a latitude de 20° 54' S, a longitude a 46° 59' W e a precipitação pluviométrica média anual de 1.627 mm, com o clima classificado com Cwa, segundo Köppen. O outro experimento foi conduzido em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd) (EMBRAPA, 1999), fase Cerrado, em Patrocínio (MG). A altitude da sede do município é de 934 m, a latitude de 18° 57' S, a longitude a 47° 00' W e a precipitação pluviométrica média anual de 1.400 mm, com classificação climática com Cwa, segundo Köppen. A caracterização química e a física dos solos foram efetuadas em amostras compostas, coletadas na profundidade de 0-20 cm em lavouras já estabelecidas (Quadro 1).

Em ambos os locais, foram utilizados cafezais da espécie *Coffea arabica* L. do cultivar Catuaí

Vermelho, linhagem MG-99, com idade de seis anos, com uma planta por cova, no espaçamento 3,5 x 0,7 m. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados com parcelas subdivididas, utilizando-se nas parcelas três fontes de K: cloreto de potássio (KCl), sulfato de potássio (K₂SO₄) e nitrato de potássio (KNO₃) e, nas subparcelas, quatro doses de K (0, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹), com quatro repetições. A subparcela experimental foi constituída de três linhas de oito plantas, formando um total de 24 plantas por subparcela, sendo a subparcela útil as seis plantas centrais. Os íons acompanhantes das fontes de K não foram balanceados, sendo aplicada em todas as parcelas uma adubação nitrogenada e fosfatada de 140 kg ha⁻¹ de N e 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅, utilizando-se uréia e superfosfato triplo, respectivamente.

Nos tratamentos, as adubações nitrogenadas e fosfatadas foram parceladas em quatro vezes iguais a cada ano (outubro, dezembro, janeiro e março). De novembro a janeiro, os experimentos receberam pulverização a alto volume de ácido bórico 3 g L⁻¹ e sulfato de zinco 5 g L⁻¹ da calda, para o controle preventivo de deficiências de B e Zn, respectivamente. Anualmente, em julho, após a colheita, foram feitas aplicações foliares contra o "bicho mineiro" com Ethion 1,2 L ha⁻¹. Nos meses de dezembro, janeiro, fevereiro e abril, foram feitas aplicações com Auto 100 1 L ha⁻¹ para controle da ferrugem do cafeeiro. Os cafeeiros foram mantidos sempre livres de plantas daninhas, nas linhas e nas ruas, por capinas manuais. Em maio, foram feitas as "arruações" e, em julho, as "esparramações do cisco".

Avaliou-se a produção de grãos das seis plantas úteis, colhidas por derriça no pano, quando apresentaram, aproximadamente, 5 % de frutos verdes. Após colhidas, as amostras foram secas em terreiro cimentado, pesadas e beneficiadas. A quantidade de café beneficiado, por subparcela útil, foi convertida em produção de sacas de 60 kg por hectare. As produções foram avaliadas por quatro safras (1995 a 1998) em São Sebastião do Paraíso e em Patrocínio.

Quadro 1. Características químicas e físicas do solo antes da instalação do experimento na profundidade de 0-20 cm

Solo ⁽¹⁾	pH _{água}	P	K	S-SO ₄ ⁻²	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	V	MO	Areia	Silte	Argila
		mg dm ⁻³			mmol _c dm ⁻³			%	g kg ⁻¹			
LVdf	6,0	7,0	70	19,5	38	9	1	65	26	240	230	530
LVAd	5,9	3,0	63	17,5	34	13	1	69	31	220	310	470

⁽¹⁾ LVdf – Latossolo Vermelho distroférrico de São Sebastião do Paraíso e LVAd – Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico de Patrocínio (EMBRAPA, 1999).

pH_{água} – Relação solo-água 1:2,5; P e K – Extrator Mehlich-1; S-SO₄⁻² – Extrator fosfato diácido de cálcio (Ca(H₂PO₄)₂); Ca, Mg e Al – Extrator KCl 1 mol L⁻¹; V – Saturação por bases e MO – Teor de matéria orgânica determinado pelo método da oxidação do carbono por dicromato de potássio em meio ácido multiplicado por 1,724.

A atividade enzimática da polifenoloxidase, referente aos tratamentos aplicados em cada safra, por local de cultivo, foi determinada em amostras de grãos de café, moídos em moinho tipo Croton Mod. TE-580 com peneira de 30 mesh. O método de extração da enzima consistiu na extração descrita por Draetta & Lima (1976), tendo sido pesados 5 g da amostra de café previamente moída e adicionados 40 mL da solução de fosfato de potássio 0,1 mol L⁻¹ a pH 6,0, agitando-se a amostra por 5 min. O material utilizado foi mantido em baixa temperatura (4 °C). Após a agitação, foi feita a filtração em papel de filtro Whatman nº 1. A atividade da enzima foi determinada pelo método descrito por Ponting & Joslyng (1948), utilizando-se o extrato da amostra sem DOPA (3,4 dihidroxifenil-alanina), como branco, expressa em U g⁻¹ de grãos (U é a unidade de atividade enzimática equivalente a 0,001 da densidade ótica por minuto).

As amostragens para as determinações dos teores de macro e micronutrientes nas folhas foram feitas colhendo-se o terceiro e o quarto pares de folhas, a partir das pontas dos ramos laterais inseridos na altura média da planta e ao seu redor, no verão, nas quatro safras e em cada local de cultivo (Malavolta, 1993).

Os teores de N nas folhas foram determinados por micro Kjeldahl, segundo método descrito por Malavolta et al. (1997). No extrato, obtido por digestão nitroperclórica, foram dosados os teores totais de P por colorimetria; os de K por fotometria de chama; os de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn por espectrofotometria de absorção atômica e os de S total por turbidimetria (Malavolta et al., 1997). Os teores de Cl nas folhas foram determinados pelo método potenciométrico descrito por Silva et al. (1998).

Os dados de produção e atividade enzimática da polifenoloxidase foram submetidos à análise de variância e aos estudos de regressão, cujas equações foram ajustadas para estas variáveis, média de quatro safras (1995 a 1998), considerando as doses de K aplicadas para cada fonte e local de cultivo. A partir das equações obtidas, estimaram-se as doses para 100 % do máximo de cada variável avaliada. Calculou-se o incremento relativo das variáveis advindo da adubação potássica (IRK), visando estabelecer o aumento obtido no valor da variável para cada kg de K aplicado por ha. Para tal, utilizou-se a diferença entre o valor estimado para a dose máxima e com a dose zero, bem como a diferença entre as doses, pela fórmula: $IRK = (\text{Valor da variável na dose máxima} - \text{valor da variável na dose zero}) / (\text{Dose máxima} - \text{Dose zero})$.

Para verificar o estado nutricional do cafeeiro à aplicação da adubação potássica, obtiveram-se os índices DRIS a partir dos teores totais dos nutrientes das folhas do terceiro e quarto par, em um total de 384 amostras, que foram coletadas nas parcelas

experimentais dos dois experimentos em quatro safras (1995 a 1998).

Os índices DRIS foram calculados na forma estudentizada por Alvarez V. & Leite (1992) como se segue:

$$IN = [Z(A/B) + Z(A/C) + \dots + Z(A/N) - Z(B/A) - Z(C/A) - \dots - Z(N/A)] / [2(n-1)]$$

$$\text{Quando: } (A/B) > (a/b) \Leftrightarrow Z(A/B) = [(A/B)/(a/b) - 1] * [1.000/CV]$$

$$\text{Quando: } (A/B) < (a/b) \Leftrightarrow Z(A/B) = [1 - (A/B)/(a/b)] * [1.000/CV]$$

sendo: Z(A/B) = função da relação entre os nutrientes A e B da amostra;

(A/B) = valor da relação entre os nutrientes A e B na amostra;

a/b = valor da norma média para as relações A/B na população de alta produção;

CV = coeficiente de variação das relações A/B da população de alta produção;

n = número de nutrientes envolvidos no diagnóstico.

As amostras com produções superiores a 30 sacas de café beneficiado por ha foram consideradas como ponto de corte entre amostras de alta e baixa produção e, portanto, denominadas lavoura-padrão para o cálculo da média, desvio-padrão e coeficiente de variação. Obtidos os índices DRIS médios de quatro safras, calculou-se o índice de balanço nutricional (IBN) pelo somatório dos valores absolutos dos índices DRIS, conforme a equação: $IBN = |IN_A| + |IN_B| + \dots + |IN_N|$, para verificar o balanço nutricional global dos tratamentos frente à resposta à adubação potássica.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As produções de grãos e a atividade enzimática da polifenoloxidase foram influenciadas pelas fontes e doses de K em ambos os locais (Quadro 2), aumentando de forma quadrática (Quadro 3) com o incremento das doses de K para as fontes aplicadas.

Em Patrocínio, as produções máximas foram superiores às obtidas em São Sebastião do Paraíso, com as doses de K máximas próximas àquelas encontradas neste último local dentro de cada fonte aplicada (Quadro 4), sendo as doses que maximizaram o rendimento de grãos em torno de 216 kg ha⁻¹ de K, para produção entre 40 e 50 sacas ha⁻¹, segundo recomendação de Guimarães et al. (1999).

A atividade enzimática da polifenoloxidase dos grãos apresenta relação positiva com a qualidade da bebida do café (Amorim & Silva, 1968; Sanint &

Quadro 2. Produção e atividade enzimática da polifenoloxidase dos grãos de café, considerando as fontes e doses de K aplicadas em dois locais. Média de quatro safras (1995 a 1998)

Dose de K	São Sebastião do Paraíso			Patrocínio		
	KCl	K ₂ SO ₄	KNO ₃	KCl	K ₂ SO ₄	KNO ₃
kg ha ⁻¹						
			Produção, sacos ha ⁻¹			
0	33,02	30,61	32,02	46,60	44,54	44,39
100	36,36	36,49	38,05	50,88	52,45	49,90
200	38,83	36,04	36,34	52,77	59,20	55,15
400	34,59	34,86	32,20	47,48	45,67	50,99
			Atividade enzimática da polifenoloxidase, U g ⁻¹ de amostra			
0	55,02	55,20	54,12	57,06	61,06	59,77
100	60,38	61,84	66,56	63,15	65,38	67,20
200	61,73	66,85	65,57	63,97	68,37	66,25
400	57,46	60,93	61,40	60,31	64,76	63,26

Quadro 3. Equações de regressão ajustadas para produção e atividade enzimática da polifenoloxidase em grãos de café como variáveis dependentes das doses de K aplicadas (kg ha⁻¹). Média de quatro safras (1995 a 1998)

Local	Fonte K	Equação de regressão	R ²
		Produção, sacos ha ⁻¹	
São Sebastião do Paraíso	KCl	$\hat{Y} = 32,84 + 0,05174^{**}X - 0,000118^{**}X^2$	0,98
	K ₂ SO ₄	$\hat{Y} = 31,12 + 0,05047^{**}X - 0,000103^{**}X^2$	0,85
	KNO ₃	$\hat{Y} = 32,63 + 0,05094^{**}X - 0,000131^{**}X^2$	0,83
Patrocínio	KCl	$\hat{Y} = 46,54 + 0,05883^{**}X - 0,000141^{**}X^2$	0,99
	K ₂ SO ₄	$\hat{Y} = 43,89 + 0,13525^{**}X - 0,000325^{**}X^2$	0,96
	KNO ₃	$\hat{Y} = 44,71 + 0,07695^{**}X - 0,000153^{**}X^2$	0,97
		Atividade enzimática da polifenoloxidase, U g ⁻¹ de amostra	
São Sebastião do Paraíso	KCl	$\hat{Y} = 55,16 + 0,06289^{**}X - 0,000143^{**}X^2$	0,99
	K ₂ SO ₄	$\hat{Y} = 54,89 + 0,09816^{**}X - 0,000207^{**}X^2$	0,98
	KNO ₃	$\hat{Y} = 54,16 + 0,11015^{**}X - 0,000238^{**}X^2$	0,86
Patrocínio	KCl	$\hat{Y} = 57,35 + 0,06475^{**}X - 0,000144^{**}X^2$	0,96
	K ₂ SO ₄	$\hat{Y} = 60,91 + 0,06175^{**}X - 0,000130^{**}X^2$	0,98
	KNO ₃	$\hat{Y} = 60,42 + 0,06482^{**}X - 0,000145^{**}X^2$	0,84

** Significativo a 1 % pelo teste de t.

Valência, 1970, Rotenberg & Iachan, 1972, Carvalho et al., 1994). Verifica-se (Quadro 2) que as maiores atividades enzimáticas da polifenoloxidase foram encontradas em Patrocínio, quando foram comparados os valores de atividade enzimática nos tratamentos que não receberam adubação potássica. O café de São Sebastião do Paraíso, na ausência da fertilização potássica, foi classificado, segundo proposta de Carvalho et al. (1994), como não-

aceitável (“riada” e “rio”), ao contrário do ocorrido em Patrocínio, onde o café foi classificado na testemunha como aceitável (“dura”). Resultado semelhante foi encontrado por Chagas et al. (1996) que obtiveram maior atividade enzimática da polifenoloxidase nos municípios da região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, incluindo-se cafés do município de Patrocínio, em relação aos dos municípios da região do Sul de Minas Gerais.

Quadro 4. Valores máximos estimados da produção e atividade da polifenoloxidase dos grãos de café com as doses máximas e o incremento relativo advindo da aplicação de K (IRK)

Fonte de K	São Sebastião do Paraíso			Patrocínio		
	Valor máximo	Dose máxima	IRK ⁽¹⁾	Valor máximo	Dose máxima	IRK ⁽¹⁾
	Produção					
	sacos ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	— sacos ha ⁻¹ —		kg ha ⁻¹	sacos ha ⁻¹
KCl	38,5	219,2	0,026	52,7	208,6	0,029
K ₂ SO ₄	37,3	245,0	0,026	58,0	208,1	0,067
KNO ₃	37,6	194,4	0,026	54,4	251,0	0,038
	Atividade enzimática da polifenoloxidase, U g ⁻¹ de amostra					
	U g ⁻¹	kg ha ⁻¹	————— U g ⁻¹ —————		kg ha ⁻¹	U g ⁻¹
KCl	62,07 (D) ⁽²⁾	219,8	0,031	64,63 (M) ⁽²⁾	224,8	0,032
K ₂ SO ₄	66,52 (M) ⁽²⁾	237,1	0,050	68,24 (EM) ⁽²⁾	237,5	0,031
KNO ₃	67,90 (EM) ⁽²⁾	231,4	0,055	67,66 (M) ⁽²⁾	223,5	0,032

⁽¹⁾ Unidade da variável por kg ha⁻¹ de K aplicado. ⁽²⁾ Classificação da bebida segundo Carvalho et al. (1994) como D – Bebida dura; M - Bebida mole e EM - Estritamente mole.

Percebe-se (Quadro 4) que as atividades máximas das amostras foram classificadas, segundo Carvalho et al. (1994), como bebida “mole” e “estritamente mole” em São Sebastião do Paraíso, para as fontes K₂SO₄ e KNO₃, respectivamente. Em Patrocínio, ainda para estas duas fontes de K, os cafés foram classificados como “estritamente mole” e “mole”, respectivamente. Para a fonte KCl a classificação foi de bebida “dura” em São Sebastião do Paraíso e bebida “mole” em Patrocínio, e, no último local, na ausência de adubação potássica, as amostras de café foram classificadas como bebida “dura”, ao contrário de São Sebastião do Paraíso, onde o café foi classificado com bebida “riada” ou “rio”.

Resultados semelhantes na avaliação de fontes e doses de K na qualidade do café foram obtidos por Silva et al. (1999) que encontraram maior atividade enzimática da polifenoloxidase com a fonte K₂SO₄. Arcila-Pulgarim e Valência-Aristizábal (1975) não encontraram resposta à adubação potássica, mas observaram maior atividade da enzima polifenoloxidase, quando foi aplicado sulfato de potássio.

Obtiveram-se os índices DRIS (Beaufils, 1973) dos nutrientes componentes das fontes de K aplicadas para verificar o balanço destes nas folhas em relação à resposta à adubação potássica em produção do cafeeiro (Quadro 5). A aplicação das doses crescentes das fontes de K aumentou os índices DRIS de K e dos seus íons acompanhantes (N, S e Cl), em decorrência da não-compensação, ultrapassando as exigências do cafeeiro acima da dose de 200 kg ha⁻¹ de K, reveladas pelos índices positivos (Quadro 5). O excesso do Cl, K e N pela aplicação de KCl, K₂SO₄ e KNO₃, respectivamente, em São Sebastião do Paraíso (Quadro 5) tem proporcionado reduzido incremento da produção

advindo da adubação potássica (IRK) (Quadro 4). Em Patrocínio, esta situação prevalece para o KCl e KNO₃, apresentando o K₂SO₄ o melhor IRK (Quadro 4), com destaque de ser a fonte, na dose de 200 kg ha⁻¹ de K, com menor IBN (Quadro 5).

O desequilíbrio proporcionado pelo K e N nas fontes isentas de cloreto resultou numa relação inversa que favoreceu a resposta em São Sebastião do Paraíso, em termos de qualidade de bebida, verificada pela análise dos maiores valores de IRK (Quadro 4) e reforçada pela superioridade dos coeficientes lineares das equações ajustadas (Quadro 3).

Verifica-se, portanto, uma oposição entre a resposta da produção de grãos e a qualidade da bebida de São Sebastião do Paraíso e Patrocínio, exceto com o KCl, que apresentou comportamento semelhante nas duas variáveis avaliadas (Quadro 4). Essa evidência com esta fonte, em relação à produção, deve-se à aplicação de 140 kg ha⁻¹ de N, que proporcionou o nivelamento dos incrementos. A aplicação somente de K teria reduzido efeito, tendo a interação N x K na produção do cafeeiro elevada importância (Malavolta, 1993).

Em termos de qualidade da bebida, condições não relacionadas com o equilíbrio nutricional do cafeeiro devem ser atribuídas à atuação direta do íon cloreto em reduzir a atividade enzimática da polifenoloxidase. Esta enzima é ativada pelo íon cobre (Robison & Eskin, 1991), que é o seu catalisador, mas o cloreto, segundo Fox (1991), inibe sua atividade pela interação ou reação com o cobre, propiciando redução de sua atividade nos grãos, como pelo excesso de Cl nas folhas do cafeeiro revelado pelos índices DRIS positivos (Quadro 5), proporcionando elevada redistribuição deste micronutriente para os grãos de café.

Quadro 5. Índices DRIS e índice de balanço nutricional (IBN) dos nutrientes componentes das fontes e doses de K aplicadas em dois locais

Fonte K	Dose	São Sebastião do Paraíso					Patrocínio				
		N	K	S	Cl	IBN ⁽¹⁾	N	K	S	Cl	IBN ⁽¹⁾
	kg ha ⁻¹										
KCl	0	-0,3	0,2	-0,3	-0,8	10,1	0,5	-1,5	0,4	-3,7	12,3
	100	-0,2	0,4	0	-0,7	10,1	0,1	0,4	-0,1	-0,6	7,4
	200	0	0,5	-0,6	1,4	8,0	-0,2	0,3	-0,6	1,8	7,1
	400	-0,7	1,8	-1,4	4,0	20,0	-0,9	1,1	-1,6	8,5	18,6
K ₂ SO ₄	0	-0,1	-1,1	-0,3	-0,6	10,3	0,2	-1,4	-0,5	-0,5	9,4
	100	-0,2	1,0	-0,1	-0,4	9,2	-0,1	0,4	0	-0,2	6,0
	200	-0,4	1,2	-0,2	-0,7	9,5	0	0,2	0,1	-0,4	5,5
	400	-0,3	1,6	0,3	-1,0	11,8	-0,2	1,4	1,5	-1,2	6,0
KNO ₃	0	-0,7	-0,4	-0,4	-0,3	8,9	-0,1	-0,9	-0,1	-0,6	7,5
	100	-0,4	0	-0,4	-0,1	6,6	-0,1	0,9	0	-0,5	7,1
	200	1,2	0,3	-0,5	-0,3	6,3	1,3	0,8	-0,1	-0,5	6,1
	400	2,3	1,1	-0,3	-1,3	12,6	1,5	1,1	-0,3	-1,3	7,0

⁽¹⁾ Índice de balanço nutricional pelo somatório, em módulo, dos 12 nutrientes analisados.

Por outro lado, sabe-se que certos ânions têm efeito de desnaturação da proteína, isto é, alterações na estrutura quaternária, terciária e secundária, que são, em ordem decrescente, SCN⁻ > ClO₄⁻ > I⁻ > Cl⁻ > acetato > SO₄⁻² (Fox, 1991). A ação indireta do íon cloreto pode estar relacionada com a diferença de umidade entre os locais de cultivo. Em ambiente mais úmido, os frutos das plantas que recebem elevadas quantidades de cloreto tornam-se mais higroscópicos (Gouny, 1973) e mais passivos à proliferação de microrganismos (Chalfoun, 1996).

Pelo exposto, observa-se que houve menor resposta da produção em São Sebastião do Paraíso, em virtude do desbalanço nutricional ocorrido, que possibilitou melhor resposta da qualidade de bebida do café neste local do que daquele produzido em Patrocínio, com maior equilíbrio nutricional das plantas. Em Patrocínio, a influência do clima, nivelando o incremento entre as fontes de K (Quadro 4), parece ter certa consistência, conforme

verificado por Chagas et al. (1996), que compararam a qualidade de amostras de café de três regiões do estado de Minas Gerais. Por outro lado, o melhor balanço nutricional dos cafeeiros de Patrocínio promoveu maior produção de grãos, em detrimento da qualidade da bebida.

A relação entre a produção de grãos e a qualidade da bebida com os valores de IBN é apresentada na figura 1. O IBN apresentou comportamento bastante próximo do modelo teórico com relação inversa à produção do cafeeiro (Figura 1a) com ajuste de coeficiente de correlação linear simples (r = 0,72) e coeficiente linear significativo diferente de zero (P < 0,01). As produções mais elevadas em Patrocínio estiveram relacionadas com os menores valores de IBN, ao contrário das produções de São Sebastião do Paraíso (Figura 1a). Este índice indica que, quanto menor o seu valor, melhor será o estado nutricional da planta (Costa, 1999). A mesma tendência ocorreu entre o IBN e a qualidade da

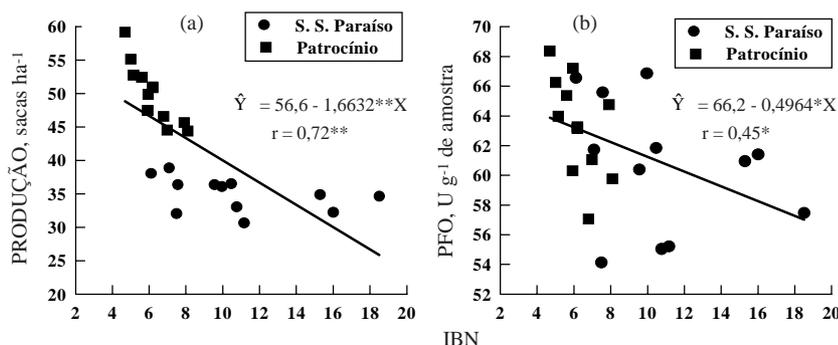


Figura 1. Correlação linear simples entre IBN com a produção (a) e atividade enzimática da polifenoloxidase (PFO) de grãos de café (b). (* e ** significativos a 5 e 1 % pelo teste de t).

bebida (Figura 1b), com coeficiente de correlação linear ($r = 0,45$) e significância do coeficiente linear ($P < 0,05$) inferior ao encontrado para produção.

O efeito diferenciado dos íons acompanhantes na resposta da produção do cafeeiro de acordo com as doses crescentes das fontes de K destaca a importância do diagnóstico do estado nutricional do cafeeiro, com o objetivo de proporcionar um manejo mais adequado, conforme citado por Arboleta et al. (1988), Nick (1998) e Costa (1999). Em contrapartida, a influência do estado nutricional na qualidade da bebida do café, segundo Amorim (1970), é muito discutida e, de certo modo, contraditória, não se podendo chegar a uma conclusão definitiva. Esta controvérsia talvez possa ser explicada pelos vários fatores que influenciam a qualidade, tais como: o clima, o solo e o manejo cultural pré e pós-colheita.

CONCLUSÃO

1. Pelo DRIS, o diagnóstico do estado nutricional do cafeeiro foi consistente em avaliar a resposta à adubação potássica, em que o excesso dos nutrientes das fontes aplicadas influenciaram mais intensamente a produção de grãos do que a qualidade da bebida do café.

AGRADECIMENTOS

À Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado de Minas Gerais (EPAMIG), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (CBP&D/CAFÉ), pelo apoio e cooperação.

LITERATURA CITADA

- ALVAREZ V., V.H. & LEITE, R.A. Fundamentos estatísticos das fórmulas usadas para cálculos dos índices dos nutrientes no Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação – DRIS. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., Piracicaba, 1992. Anais. Piracicaba, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1992. p.186-188.
- AMORIM, H.V. Nutritional status of the coffee plant and beverage quality. *Ind. Coffee*, 34:331-335, 1970.
- AMORIM, H.V. & SILVA, D.M. Relationship between the polyphenol oxidase activity of coffee beans and quality of the beverage. *Nature*, 219:381-382, 1968.
- AMORIM, H.V.; TEIXEIRA, A.A.; MORAES, R.S.; REIS, A.J.; PIMENTEL GOMES, F. & MALAVOLTA, E. Estudos sobre alimentação mineral do cafeeiro XXVII. Efeito da adubação N, P e K no teor de macro e micronutrientes do fruto e na qualidade da bebida do café. *An. ESALQ*, 30:323-333, 1973.
- ARBOLETA, C.; ARCILA, P.J. & RICARDO MARTINEZ, B. Sistema Integrado de Recomendación y Diagnosis: Una alternativa para la interpretación de resultados del análisis foliar em café. *Agron. Colombiana*, 5:17-30, 1988.
- ARCILA-PULGARIN, J. & VALÊNCIA-ARISTIZÁBAL, G. Relación entre la actividad de la polifenol oxidasa (P.F.O.) y las pruebas de catation como medidas de la calidad de la bebida del café. *Cenicafé*, 26:55-71, 1975.
- BEAUFILS, E.R. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). Pietermaritzburg, University of Natal, 1973. 132p. (*Soil Sci. Bulletin*, 1)
- CARVALHO, V.D.; CHAGAS, S.J.R.; CHALFOUN, S.M.; BOTREL, N. & JUSTE JUNIOR, E.S.G. Relação entre a composição físico-química e química do grão beneficiado e a qualidade de bebida do café. *Pesq. Agropec. Bras.*, 29:449-454, 1994.
- CHAGAS, S.J.R.; CARVALHO, V.D. & COSTA, L. Caracterização química e qualitativa de cafés de alguns municípios de três regiões produtoras de Minas Gerais. *Pesq. Agropec. Bras.*, 31:555-561, 1996.
- CHALFOUN, S.M.S. O café (*Coffea arabica* L.) na Região Sul de Minas Gerais - relação da qualidade com fatores ambientais, estruturais e tecnológicos. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1996. 171p. (Tese de Doutorado)
- COSTA, A.N. Aplicação do sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS) em cafeeiros Conilon (*Coffea canephora*) e arábica (*Coffea arabica*). In: SIMPÓSIO MONITORAMENTO NUTRICIONAL PARA RECOMENDAÇÃO DA ADUBAÇÃO DE CULTURAS, 1., Piracicaba, 1999. Anais. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1999.
- DRAETTA, I.S. & LIMA, D.C. Isolamentos e caracterização das polifenoloxidases do café. *Colet. Inst. Tecn. Alim.*, 7:3-28, 1976.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, Produção de Informação, 1999. 412p.
- FOX, P.F. *Food enzymology*. London, Elsevier Applied Science, 1991. 378p.
- GOUNY, P. Observaciones sobre el comportamiento del vegetal en presencia de iones de cloro. *R. Potassa*, 45:1-14, 1973.
- GUIMARÃES, P.T.G.; GARCIA, A.W.R.; ALVAREZ V., V.H.; PREZOTTI, L.C.; VIANA, A.S.; MIGUEL, A.E.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J.B.; LOPES, A.S.; NOGUEIRA, F.D. & MONTEIRO, A.V.C. Cafeeiro. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. 5ª Aproximação. Viçosa, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.289-302.
- JARREL, W.M. & BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. *Adv. Agron.*, 34:197-224, 1981.
- MALAVOLTA, E. Efeitos de doses e fontes de enxofre em culturas de interesse econômico. IV - Café. São Paulo, Centro de Pesquisa e Promoção do Sulfato de Amônio, 1986. 41p. (Boletim Técnico, 4)

- MALAVOLTA, E. Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: colheitas econômicas máximas. São Paulo, Agronômica Ceres, 1993. 210p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 319p
- MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Principales of plant nutrition. 4.ed. Berna, International Potash Institute, 1987. 687p.
- NICK, J.A. DRIS para cafeeiros podados. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1998. 86p. (Tese de Mestrado)
- PONTING, J.D. & JOSLYNG, M.A. Ascorbic acid oxidation and browning in apple tissue extracts. Archives of Biochem., 19:47-63, 1948.
- ROBINSON, D.S. & ESKIN, N.A.M. Oxidative enzymes in foods. New York, Elsevier Applied Science, 1991. 314p.
- ROTENBERG, B. & IACHAN, A. Contribuição ao estudo enzimático do grão de café. I. Tirosinase e lacase. R. Bras. Tecnol., 3:155-159, 1972.
- SANINT, O.B. & VALÊNCIA, A. Actividade enzimática en el grano de café en relación con la calidad de la bebida. I. Duración de la fermentación. Cenicafé, 21:59-71, 1970.
- SANTINATO, R.; OLIVEIRA, L.H. & PEREIRA, E.M. Efeitos do uso de salitre de potássio como fonte de nitrogênio e potássio na adubação química do cafeeiro - Carmo do Paranaíba/MG - 1992/1996. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 22., Águas de Lindóia, 1996. Anais. Águas de Lindóia, SDR/PROCAFÉ, 1996. p.180-184.
- SILVA, E.B.; NOGUEIRA, F.D.; GUIMARÃES, P.T.G. & MALTA, M.R. Chloride analysis methods and contents in leaves, grains and husk of coffee. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 29:2319-2331, 1998.
- SILVA, E.B.; NOGUEIRA, F.D.; GUIMARÃES, P.T.G.; CHAGAS, S.J.R. & COSTA, L. Fontes e doses de potássio na produção e qualidade do grão de café beneficiado. Pesq. Agropec. Bras., 34:335-345, 1999.
- SUMNER, M.E. Use of the DRIS system in foliar diagnosis of crops at high yield levels. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 8:251-268, 1977.

