



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Brasil

Galvêas Laviola, Bruno; Prieto Martinez, Herminia Emilia; Chamhum Salomão, Luiz Carlos; Cruz, Cosme Damião; Mendonça, Sebastião Marcos

**ACÚMULO DE NUTRIENTES EM FRUTOS DE CAFEEIRO EM QUATRO ALTITUDES DE CULTIVO:
CÁLCIO, MAGNÉSIO E ENXOFRE**

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 31, núm. 6, 2007, pp. 1451-1462

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214061022>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

ACÚMULO DE NUTRIENTES EM FRUTOS DE CAFEEIRO EM QUATRO ALTITUDES DE CULTIVO: CÁLCIO, MAGNÉSIO E ENXOFRE⁽¹⁾

**Bruno Galvães Laviola⁽²⁾, Herminia Emilia Prieto Martinez⁽³⁾, Luiz
Carlos Chamhum Salomão⁽³⁾, Cosme Damião Cruz⁽⁴⁾ & Sebastião
Marcos Mendonça⁽⁵⁾**

RESUMO

As curvas de acúmulo de nutrientes em frutos permitem estimar sua exportação, bem como as épocas de maior demanda. Estudou-se o acúmulo de MS, Ca, Mg e S em frutos de *Coffea arabica* (L.) da antese à maturação em quatro altitudes, bem como a variação na concentração dos elementos em folhas dos ramos produtivos. O experimento foi constituído da variedade de cafeiro Catuai IAC 44 cultivada a 720, 800, 880 e 950 m de altitude, no município de Martins Soares-MG. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, com três repetições, usando-se um esquema de parcela subdividida no tempo. O aumento da altitude influenciou o ciclo reprodutivo do cafeiro, pois houve demanda de maior tempo para formação dos frutos. No estádio de expansão rápida, a percentagem de acúmulo de MS, Ca, Mg e S foi maior na altitude de 720 m, comparada, principalmente, à de 950 m. A TMAD (taxa máxima de acúmulo diário) no estádio de granação-maturação apresentou tendência de ser mais tardia com a elevação da altitude. O consumo de nutrientes pelos frutos, assim como o enchimento de grãos, é mais crítico em condições de menor altitude, já que a planta necessita completar esses processos em menor espaço de tempo. De modo geral, na altitude de 720 m ocorreu maior competição fruto/folha pela participação de Ca, Mg e S.

Termos de indexação: fisiologia vegetal, nutrição mineral, temperatura.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Doutorado em Fitotecnia do primeiro autor. Recebido para publicação em novembro de 2006 e a julho de 2007.

⁽²⁾ Engenheiro-Agrônomo, DSc., Pesquisador, Embrapa Agroenergia, CEP 70770-901 Brasília (DF). E-mail: bruno.laviola@embrapa.br

⁽³⁾ Professor(a) do Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa – UFV. CEP 36570-000 Viçosa (MG). herminia@ufv.br; lsalomao@ufv.br

SUMMARY: NUTRIENT ACCUMULATION IN COFFEE FRUITS AT FOUR PLANTATIONS ALTITUDE: CALCIUM, MAGNESIUM AND SULFUR

Curves of fruit nutrient accumulation are tools for estimating the peaks of nutrient demand and the nutrient export form the soil. The accumulation of dry matter (DM), Ca, Mg and S was studied in fruits of Coffea arabica (L.) in the period between anthesis and maturation at four altitudes of cultivation, as well as the variation in the leaf content of the elements in productive branches. The experiment consisted of the coffee variety Catuá IAC 44 cultivated at 720, 800, 880 and 950 m above sea level (asl), in Martins Soares-MG. The experimental design was entirely randomized with tree replications using a split-plot in time scheme. The height asl of the crop influenced the coffee reproduction cycle, particularly the time required for fruit formation. In the fast expansion stage the percentages of DM and Ca, Mg and S accumulation were higher in trees grown at 720 m than at 950 m. The DMAR (daily maximum accumulation rate) in the grain filling stage tended to be delayed at higher altitudes. Nutrient accumulation in the fruits as well as grain filling are more critical at lower altitudes since these processes have to occur in a shorter time. In general, the fruit/leaf competition for the partitioning of Ca, Mg and S was higher at 720 m.

Index terms: plant physiology; mineral nutrition; temperature.

INTRODUÇÃO

O cafeiro é uma planta que leva dois anos para completar o ciclo fenológico. No primeiro ano do ciclo, durante os meses de dias longos, ocorre a formação do corpo vegetativo da planta, com gemas axilares que poderão ser vegetativas ou reprodutivas, dependendo do estímulo recebido (Rena & Maestri, 1985; Gouveia, 1984). O segundo ano do ciclo fenológico do cafeiro começa com a floração, após um choque hídrico nas gemas florais. Após a fecundação da flor, inicia-se o período de desenvolvimento do fruto, entre os meses de setembro e julho, passando pelos estádios de chumbinho, expansão rápida, granação até a maturação (Rena et al., 2001; Camargo & Camargo, 2001). As fases fenológicas do cafeiro são bem definidas, porém, segundo Camargo (1998), elas podem adiantar ou atrasar, dependendo do clima e da região, além da altitude.

O crescimento do fruto do café em tamanho e matéria fresca segue um modelo-padrão de sigmóide dupla, embora um modelo sigmóide simples já tenha sido relatado (Rena & Maestri, 1985). Laviola et al. (2007) verificou forte acúmulo de matéria seca no fruto nos estádios de expansão rápida e granação-maturação; neste último estádio, o acúmulo de matéria seca pelo fruto perdurou até o momento da colheita.

Durante a formação do fruto do cafeiro e nos diversos estádios de desenvolvimento, há variações na concentração e na quantidade dos elementos acumulados, assim como na produção de matéria seca. De acordo com Moraes & Catani (1964), o consumo de

nutrientes exigida na fase de florada e chuva pequena, aumentando significativamente a passagem dos frutos para o estádio verde-a-granação (verde-sólido), até a maturação da fruta. Cerca de 73 % do crescimento vegetativo ocorre de outubro a abril, sendo o consumo de nutrientes e frutificação também concentrado nesse período (80 %).

As curvas de acúmulo de nutrientes em frutos de cafeiro durante o período reprodutivo são uma importante ferramenta para estimar as necessidades nutricionais da cultura, bem como identificar os momentos mais adequados para aplicação de fertilizantes (Ramirez et al., 2002).

No Brasil, geralmente, o cafeiro é cultivado em regiões com altitudes que variam de 1.200 m (Matiello et al., 2005). Em regiões de menor altitude, a planta de cafeiro leva maior tempo para completar o ciclo reprodutivo. A influência da altitude na duração do ciclo reprodutivo do cafeiro está relacionada, principalmente, às temperaturas mais amenas das maiores altitudes.

É possível que o pico de exigência nutricional dos cafeiros plantados em regiões de altitude maior seja mais tardio que em regiões de baixas altitudes. Dessa forma, as épocas e os intervalos práticos de adubação deveriam ser diferentes, levando-se em conta o período de maior exigência da planta de cafeiro em cada região.

Foi objetivo deste trabalho o estudo do acúmulo de Ca, Mg e S em frutos de cafeiro arábico da

ACÚMULO DE NUTRIENTES EM FRUTOS DE CAFEEIRO EM QUATRO ALTITUDES...

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado durante o período de setembro de 2005 a julho de 2006, no Centro de Pesquisas Cafeeiras Eloy Carlos Heringer (CEPEC), localizado no município de Martins Soares, MG. O experimento foi constituído da variedade de *Coffea arabica* L. Catuai IAC-44 em quatro altitudes (Quadro 1).

No mês de agosto de 2005 foi realizada a análise química do solo de cada talhão da propriedade (Quadro 2), para efetuar a correção de acidez do solo e o fornecimento de nutrientes minerais. O fornecimento de macronutrientes foi feito via solo, em função da fertilidade deste e da carga pendente de frutos (Guimarães et al., 1999) (Quadro 3). O enxofre foi fornecido como elemento acompanhante de fertilizantes nitrogenados. Os micronutrientes Zn, B e Cu foram supridos por meio de três aplicações foliares anuais

(19/10/2005, 22/12/2005 e 22/01/2006), utilizando sulfato de zinco, ácido bórico, hidróxido de cálcio e cloreto de potássio (como adjuvante), na concentração de 4 g L⁻¹ de cada fertilizante.

O delineamento experimental empregado foi inteiramente ao acaso, distribuído em um esquema fatorial com quatro altitudes (fatores) e quatro parcelas (altitudes), 12 subparcelas (amostragens) e três repetições. Para cada parcela foram selecionadas 20 plantas, dispostas em duas fileiras, que constituíram as parcelas experimentais.

As amostragens iniciaram-se em 11 de outubro de 2005, quando houve antese floral, ocasião em que coletaram folhas e flores, sendo este considerado dia zero. A partir dessa data efetuaram-se amostragens periódicas de folhas e frutos durante o desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro, aos 34, 52, 65, 85, 103, 121, 134, 161, 190, 217, 239 e 266 dias após a antese.

Quadro 1. Caracterização dos sítios (altitude) estudadas

Altitude	Idade	Espaçamento	Produtividade
m		m	sc ha ⁻¹
720	4 anos ⁽¹⁾	2,0 x 1,0	31,60
800	10 anos	2,0 x 1,0	51,40
880	10 anos	2,0 x 1,0	55,60
950	11 anos	1,7 x 0,7	45,16

⁽¹⁾ Lavoura recepada em 2002. ⁽²⁾ Uma saca de café pesa 60 kg.

Quadro 2. Características químicas e físicas dos solos da área experimental em agosto de 2005

Altitude	MO	pH H ₂ O	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	F
m	dag kg ⁻¹		— mg dm ⁻³ —		— cmol _c dm ⁻³ —			
720	3,58	6,1	27,0	132	4,2	0,9	0	
800	3,58	5,9	18,9	195	4,6	0,8	0	
880	3,20	5,0	21,1	117	2,2	0,3	0	
950	4,61	5,2	7,5	116	2,4	0,3	0	
	CTC cmol _c dm ⁻³	S mg dm ⁻³	V %	Zn	Fe	Mn	Cu	
720	9,73	22,46	56	27,1	104,0	45,3	3,9	
800	11,35	32,39	52	34,9	68,7	26,4	6,6	
880	10,23	36,54	27	20,9	77,5	32,3	6,4	

Quadro 3. Adubação empregada no ano agrícola de 2005/2006

Altitude m	N kg ha ⁻¹	P ₂ O ₅ 0	K ₂ O 200
720	390	0	200
800	400	0	150
880	400	0	150
950	370	0	70

Quadro 5. Índice pluviométrico mensal durante o ano agrícola 2005/06 em Martins Soares, MG

	Ano 2005				
	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
	12,0	168,4	59,3	353,5	2
Ano 2006					
Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho
	7,0	131,0	256,5	121,8	31,0
					8,0

Os frutos foram colhidos aleatoriamente na parcela de ramos pertencentes ao terço médio da planta – e as folhas foram correspondentes aos terceiro e quarto pares, contadas a partir do ápice de ramos com frutos, também situados no terço médio da planta. Foram coletados 100 frutos/parcela nas quatro primeiras amostragens, 60 frutos/parcela entre a quinta e a oitava amostragem e 20 frutos/parcela nas amostragens seguintes. As folhas foram coletadas em um número fixo de 15 folhas/parcela durante todas as amostragens.

Durante o período reprodutivo, as temperaturas mínimas e máximas, a umidade relativa (UR) entre 9 e 10 horas da manhã (Quadro 4) e o índice pluviométrico (Quadro 5) foram monitorados em intervalos de tempo semanais.

O material vegetal coletado foi lavado em água desionizada e seco em estufa de circulação de ar forçado a 70 °C até atingir peso constante, conforme descrito por Jones Junior et al. (1991). Após esse processo, o material vegetal foi pesado em balança de precisão, moído em moinho tipo Wiley, de aço inoxidável, passado em peneira de malha de 0,841 mm e acondicionado em embalagens de papel devidamente identificadas, para realização das análises químicas.

Para determinação dos teores de Ca, Mg e S, o material vegetal, seco e moído, foi submetido à digestão nitroperclórica (Johnson & Ulrich, 1959). O Ca e o

Mg foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica (AOAC, 1975), enquanto o S foi avaliado por turbidimetria do sulfato (Jackson, 1973).

O acúmulo dos nutrientes por fruto (mg) foi calculado pela seguinte fórmula:

$$\text{Acúmulo} = \frac{\text{MS de fruto (mg)} \times \text{concentração de nutriente}}{100}$$

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e regressão. Para explicar fisiologicamente o acúmulo de MS, Ca, Mg e S em frutos e a sua distribuição entre folhas e frutos, utilizaram-se modelagens de regressões não-lineares sigmoidais com três parâmetros e cúbico, conforme descrito a seguir. A escolha dos modelos foi de acordo com o ajuste e a melhor representação do fenômeno.

$$\hat{y} = \frac{a}{1 + \exp\left(-\frac{x - x_0}{b}\right)} \quad \hat{y} = y_0 + \frac{a}{1 + \exp\left(-\frac{x - x_0}{b}\right)}$$

a = ponto de máximo da curva $a = y_{\max} - y_{\min}$

b = parâmetro de ajuste b = parâmetro de ajuste

x_0 = ponto de inflexão x_0 = ponto de inflexão

y_0 = ponto de mínimo y_0 = ponto de mínimo

$$\hat{y} = y_0 + ax + bx^2 + cx^3$$

Quadro 4. Temperaturas mínimas e máximas e umidade relativa (UR) médias ocorridas durante o período reprodutivo do cafeeiros, em quatro altitudes

Temperatura	Altitude		
	720 m	800 m	880 m
Mínima média (°C)	16,22	17,28	18,94

ACÚMULO DE NUTRIENTES EM FRUTOS DE CAFEEIRO EM QUATRO ALTITUDES...

Os pontos de inflexão das curvas ajustadas corresponderam aos momentos em que ocorreram as taxas máximas de acúmulo de matéria seca e nutrientes em frutos. A taxa máxima de acúmulo diário (TMAD, mg/dia) foi determinada pelo acúmulo de matéria seca e nutrientes no ponto de inflexão menos o acúmulo do dia anterior.

Os pontos de curvatura mínima (PC_{\min}) e máxima (PC_{\max}) nos modelos sigmoidais foram calculadas conforme o método citado por Venegas et al. (1998), utilizando os parâmetros das equações não-lineares:

$$C_{\min} = x_0 - 2b \quad C_{\max} = x_0 + 2b$$

O PC_{\min} indica o momento na curva de acúmulo em que se iniciam ganhos significativos no acúmulo de MS, Ca, Mg e S. Já o PC_{\max} indica o momento em que o acúmulo dos elementos começa a se estabilizar.

O acúmulo relativo (ARe) foi obtido de acordo com as diferenças entre o mínimo e o máximo acúmulo em cada estádio de formação do fruto, sendo os valores em percentagem obtidos em relação ao acúmulo final alcançado.

$$ARe = A_F - A_I$$

ARe = acúmulo relativo no estádio de formação do fruto

A_F e A_I = acúmulo no final e início do estádio

$$\% = \frac{ARe}{AT} * 100$$

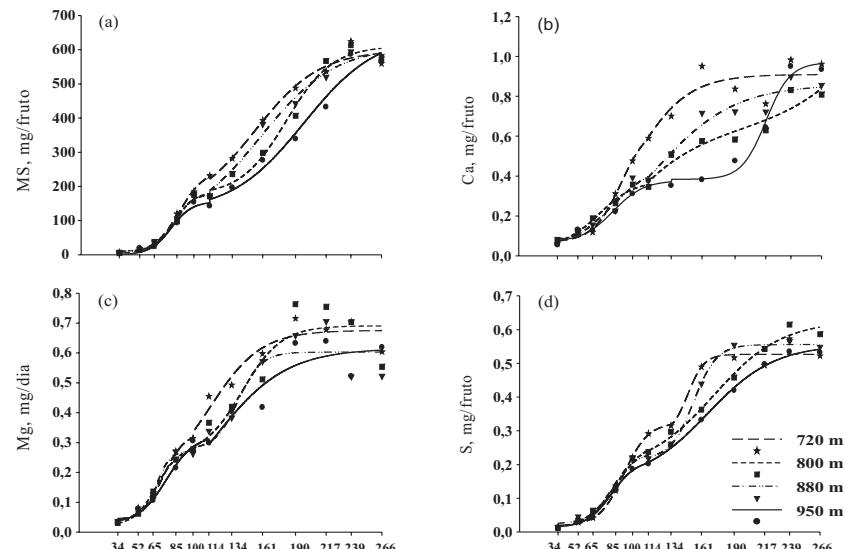
AT = acúmulo alcançado aos 266 DAA

Calculou-se a diferença das concentrações no início do ciclo reprodutivo, na época da florada (C_F), em relação às concentrações foliares de S nos respectivos momentos TMAD (taxa máxima de acúmulo diário) para os frutos nos estádios de chumbinho (rápida) (C_{ER}) e granação (C_G). Esse grande desvio de concentração indica se houve competição fisiológica entre os nutrientes ou se houve competição pelo acúmulo de Ca, Mg e S nos momentos de maior exigência nutricional da cultura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas curvas de acúmulo de matéria seca (Figura 1a; Quadro 6), foi possível distinguir os quatro estádios de formação dos frutos, sendo eles, respectivamente, chumbinho, granação, expansão rápida e crescimento suspenso quando chegam à maturação (Quadro 7).

No estádio de chumbinho, os frutos apresentaram baixa taxa de crescimento (acúmulo de matéria seca), porém elevada taxa respiratória e de multiplicação celular (Leon & Fournier, 1962; Cannell, 1972). O estádio apresentou duração variando entre 34 e 67 DAA (11 a 16/12/2005) (Quadro 7). Não se observou neste trabalho efeito do aumento crescente da altitude sobre o acúmulo de MS, Ca, Mg e S em frutos de cafeiro no estádio de chumbinho (Figura 1; Quadro 6). É possível que os efeitos da altitude, principalmente os relacionados à temperatura (Quadro 4), impactem mais nas primeiras semanas de formação do fruto de cafeiro.



Quadro 6. Equações de regressão do acúmulo de MS e Ca, Mg e S em frutos de cafeeiros em função decorrido após a antese

Variável	Altitude	Período	Modelo
MS	720 m	34–114	$\hat{y} = 3,0983 + 246,5243 / (1 + \exp(-(x - 87,2082) / 11,1720))$
		100–266	$\hat{y} = 131,5992 + 466,9270 / (1 + \exp(-(x - 154,5708) / 28,4426))$
	800 m	34–114	$\hat{y} = 10,1586 + 174,0190 / (1 + \exp(-(x - 83,1578) / 8,6302))$
		100–266	$\hat{y} = 173,9505 + 436,6964 / (1 + \exp(-(x - 181,8763) / 20,2356))$
	880 m	34–114	$\hat{y} = 9,5054 + 170,4282 / (1 + \exp(-(x - 81,2099) / 8,9412))$
		100–266	$\hat{y} = 80,5608 + 530,4816 / (1 + \exp(-(x - 159,0731) / 32,9222))$
	950 m	34–114	$\hat{y} = 156,1461 / (1 + \exp(-(x - 79,7382) / 9,3653))$
		100–266	$\hat{y} = 124,7881 + 521,8913 / (1 + \exp(-(x - 197,4214) / 32,4306))$
Ca	720 m	34–114	$\hat{y} = 0,06881 + 0,59275 / (1 + \exp(-(x - 90,0026) / 12,2515))$
		100–266	$\hat{y} = 0,91010 / (1 + \exp(-(x - 98,8445) / 23,8213))$
	800 m	34–114	$\hat{y} = 0,04441 + 0,33211 / (1 + \exp(x - 70,7687) / 15,3902))$
		114–266	$\hat{y} = -1,09827 + 0,02244x - 0,00010x^2 + 0,0000001764x^3$
	880 m	34–114	$\hat{y} = 0,35062 - 0,01505x + 0,00025x^2 - 0,000001033x^3$
		114–266	$\hat{y} = 0,85902 / (1 + \exp(-(x - 119,5827) / 34,9757))$
	950 m	34–134	$\hat{y} = 0,06983 + 0,30843 / (1 + \exp(-(x - 83,0292) / 13,3889))$
		134–266	$\hat{y} = 0,38364 + 0,58624 / (1 + \exp(-(x - 217,1613) / 10,5631))$
Mg	720 m	34–100	$\hat{y} = 0,03950 + 0,29368 / (1 + \exp(-(x - 73,7871) / 9,3143))$
		85–266	$\hat{y} = 0,16535 + 0,51320 / (1 + \exp(-(x - 115,0658) / 22,3578))$
	800 m	34–100	$\hat{y} = 0,02124 + 0,26567 / (1 + \exp(-(x - 68,0748) / 9,9950))$
		85–266	$\hat{y} = 0,25345 + 0,43761 / (1 + \exp(x - 143,2402) / 17,2493))$
	880 m	34–100	$\hat{y} = 0,04449 + 0,22694 / (1 + \exp(-(x - 67,9556) / 5,9365))$
		85–266	$\hat{y} = 0,27644 + 0,32663 / (1 + \exp(-(x - 139,5044) / 10,2302))$
	950 m	34–114	$\hat{y} = 0,02946 + 0,29486 / (1 + \exp(-(x - 76,7951) / 12,2022))$
		114–266	$\hat{y} = 0,61541 / (1 + \exp(-(x - 116,9673) / 31,9635))$
S	720 m	34–134	$\hat{y} = 0,01830 + 0,30604 / (1 + \exp(-(x - 92,2337) / 10,8988))$
		114–266	$\hat{y} = 0,28949 + 0,23722 / (1 + \exp(-(x - 148,9584) / 7,2383))$
	800 m	34–114	$\hat{y} = 0,01102 + 0,25825 / (1 + \exp(-(x - 85,2558) / 13,2537))$
		100–266	$\hat{y} = 0,18558 + 0,44011 / (1 + \exp(-(x - 172,046) / 29,9914))$
	880 m	34–114	$\hat{y} = 0,02434 + 0,21190 / (1 + \exp(-(x - 82,1982) / 10,1618))$
		100–266	$\hat{y} = 0,21665 + 0,33904 / (1 + \exp(-(x - 154,0678) / 10,2236))$
	950 m	34–114	$\hat{y} = 0,01311 + 0,20181 / (1 + \exp(-(x - 81,5785) / 11,1354))$
		100–226	$\hat{y} = 0,14762 + 0,40801 / (1 + \exp(-(x - 166,669) / 29,5987))$

Pode-se observar que no estádio de chumbinho a grande importância deste nutriente nos

ACÚMULO DE NUTRIENTES EM FRUTOS DE CAFEEIRO EM QUATRO ALTITUDES...

Quadro 7. Delimitação dos estádios de desenvolvimento do fruto de cafeiro (DAA) durante o ciclo reprodutivo com base nas curvas de acúmulo de matéria seca em frutos. Os valores entre parênteses representam a duração (dias) dos estádios

Altitude	Chumbinho	Exp. rápida	Cresc. susp.	Granação	Maturação
m					
720	0–65 (65)	65–109 (44)	109–114 (5)	114–211 (97)	211–260
800	0–67 (67)	67–100 (33)	100–114 (14)	114–222 (108)	222–260
880	0–63 (63)	63–99 (36)	99–114 (15)	114–224 (110)	224–260
950	0–61 (61)	61–98 (37)	98–114 (17)	114–262 (148)	262–260

Quadro 8. Ponto da taxa máxima de acúmulo diário (X_{TMAD} , DAA), taxa máxima de acúmulo diário (mg/fruto/dia) e pontos de curvatura mínima (PC_{\min} , DAA) e máxima (PC_{\max} , DAA), em quatro

Variável	Altitude	Período	X _{TMAD}	TMAD	C _{min}	C _{max}
	m	d				
MS	720	34–114	87	5,5110	65	1
		100–266	154	4,1025	114	2
	800	34–114	83	5,0323	67	1
		100–266	182	5,3944	141	2
	880	34–114	81	4,7844	63	
		100–266	159	4,0279	93	2
	950	34–114	80	4,1665	61	
		100–266	197	4,0222	132	2
Ca	720	34–114	90	0,0120	66	1
		100–266	99	0,0095	114	1
	800	34–114	71	0,0054	40	1
		100–266	266	0,0045	114	2
	880	34–114	82	0,0056	34	1
		100–266	119	0,0061	50	1
	950	34–114	83	0,0057	34	1
		100–266	217	0,0138	196	2
Mg	720	34–114	74	0,0079	55	
		114–266	115	0,0057	114	1
	800	34–134	68	0,0060	48	
		114–266	143	0,0063	114	1
	880	34–114	68	0,0095	56	
		114–266	139	0,0079	119	1
	950	34–134	77	0,0060	52	1
		134–266	117	0,0048	134	1
S	720	34–114	92	0,0070	70	1
		100–266	149	0,0081	134	1
	800	34–114	85	0,0049	59	1
		100–266	172	0,0037	114	2
	880	34–114	82	0,0052	62	1

relação a Mg, este pode ter sido requerido em maior quantidade para acelerar a atividade de ATPases (Marschner, 1995), já que o fruto no estádio de chumbinho possui alta taxa respiratória (Cannel, 1971b; Rena et al., 2001).

O estádio de expansão rápida do fruto apresentou tendência de ser menos extenso na menor altitude, com exceção para a altitude de 720 m (Figura 1a; Quadros 6 e 7). Na altitude de 800 m o estádio de expansão rápida ocorreu entre 67 e 100 DAA (17/12/2005 a 19/01/2006), enquanto a 950 m o mesmo estádio apresentou duração entre 61 e 98 DAA (11/12/2005 a 17/01/2006) (Quadro 7). O acúmulo de matéria seca no estádio de expansão rápida está relacionado, principalmente, à expansão celular, com deposição de material de parede (Coombe, 1976), sendo o fluxo de água para os frutos essencial para o processo de alongamento celular (Marenco & Lopes, 2005). É plausível que o acúmulo de nutrientes nos frutos no estádio de expansão ocorra por fluxo em massa, decorrente das altas taxas de translocação de água para os frutos neste estádio (Ramirez et al., 2002), necessária para expansão celular (Coombe, 1976; Taiz & Zeiger, 2004).

O ponto de curvatura mínima (PC_{min}) indica o momento em que se iniciam acúmulos relativos expressivos nos frutos (Quadro 8). De modo geral, a diferença de tempo decorrido até os PC_{min} no estádio de expansão rápida, nas diversas altitudes, foi pequena, indicando pouco efeito da altitude sobre o início da ascensão de translocação de nutrientes para os frutos. Com base nos valores de PC_{min} (Quadro 8), é imprescindível que os nutrientes já estejam disponíveis para absorção pelo sistema radicular antes do início do estádio de expansão rápida (Quadro 7).

O tempo decorrido até a taxa máxima de acúmulo diário (X_{TMAD}) de MS, Ca, Mg e S em frutos foi maior a 720 m, comparado às outras altitudes (Quadro 8). O maior X_{TMAD} na altitude de 720 m está relacionado ao alcance de maiores TMAD nesta altitude. É provável que as maiores temperaturas ocorridas na altitude de 720 m (Quadro 4) tenham proporcionado maior atividade metabólica (Larcher, 2004) nos frutos e, consequentemente, maior velocidade de acúmulo de MS e nutrientes.

Maiores acúmulos relativos (ARE) de MS, Ca, Mg e S no estádio de expansão rápida do fruto foram observados na altitude de 720 m, com relação às outras altitudes (Quadro 9). Em outras palavras, na altitude de 720 m houve, em proporção, maior consumo dos nutrientes, bem como de fotoassimilados. A maior TMAD nesta altitude (Quadro 8) contribuir para que houvesse maior acúmulo de nutrientes no final do estádio.

O estádio de crescimento suspenso apresentou

relacionada à reciclagem e síntese de compostos intermediários (Taiz & Zeiger, 2004) empregados na síntese de polímeros de plantas serem utilizados como precursores na síntese de compostos de reservas no estádio de granação.

O estádio de granação teve início aos 114 DAA (02/2006), apresentando duração até 211 DAA (30/06/2006) na altitude de 720 m e até 262 DAA (30/06/2006) na 950 m. Em outras palavras, o ciclo reprodutivo do cafeiro foi maior com o aumento da altitude, provável que a ocorrência de menores temperaturas máximas (Quadro 4) tenha influenciado a atividade enzimática e o transporte de fotoassimilados (Larcher, 2004), ampliando o tempo de formação do fruto do cafeiro.

No estádio de granação, também chamado de enrijecimento do endosperma, a matéria seca é depositada, principalmente, nas sementes (Rena et al., 2001). A X_{TMAD} no estádio de granação (Quadro 8) foi mais precoce na altitude de 720 m, comparada com a altura de 950 m. A 720 m de altitude, o maior X_{TMAD} de MS ocorreu aos 154 DAA (06/02/2006); a de Ca, aos 99 DAA (12/12/2005); a de Mg, aos 167 DAA (28/12/2005); e a de S, aos 149 DAA (01/02/2006). Na altitude de 950 m, a X_{TMAD} foi aos 197 DAA (10/02/2006) para MS, aos 217 DAA para Ca (10/02/2006) e aos 117 DAA (30/12/2006) para Mg e aos 167 DAA para S. Esses foram os momentos de maior acúmulo nutricional do cafeiro no estádio de granação, respectivas altitudes. A deficiência desses nutrientes poderia comprometer a fase final de formação do fruto, já que Ca, Mg e S fazem parte de diversos processos enzimáticos e metabólicos (Marschner, 2004).

A estabilização (PC_{max}) no acúmulo de nutrientes no estádio de granação ocorreu em menor tempo na altitude de 720 m, confrontada com as altitudes de 800 e 950 m (Quadro 8). Além disso, o acúmulo de nutrientes no estádio de granação estabilizou-se antes do acúmulo de MS em todos os tratamentos. Isso indica que, primeiramente, são acumulados os nutrientes, depois completar os processos de formação das sementes. O consumo de nutrientes pelos frutos, como o enrijecimento de grãos, é mais cedo em condições de menor altitude, já que a planta consegue completar esses processos em menor espaço.

A percentagem de acúmulo relativo no estádio de granação (Quadro 9) foi maior nas maiores altitudes (720 e 950 m), comparada à menor (800 m). Isso é explicado principalmente, em razão de o acúmulo de nutrientes na altitude de 720 m ter se antecipado às primeiras fases de formação do fruto.

Após o estádio de granação iniciou o período de maturação, que se caracteriza, principalmente, pelo aumento do teor de açúcares e por mudanças na coloração da casca do fruto (Puschmann, 1998; Larcher, 2004; Taiz & Zeiger, 2004; Larcher et al., 2001). Apesar de no quadro 7 o estádio de granação ter ido até 266 DAA (época de maturação), o fruto continuou a maturar, chegando a 366 DAA (época de colheita).

ACÚMULO DE NUTRIENTES EM FRUTOS DE CAFEEIRO EM QUATRO ALTITUDES...

Quadro 9. Acúmulo relativo (ARe) de acordo com o estádio de formação do fruto de cafeiro, e altitudes

Variável	Altitude	Ganho de acúmulo									
		Chumbinho		Exp. rápida		Cresc. susp.		Granação		Matura	
	m	mg/fruto	%	mg/fruto	%	mg/fruto	%	mg/fruto	%	mg/fruto	
MS	720	32,8	5,56	186,3	31,58	10,15	1,72	312,9	53,1	47,34	
	800	33,35	5,52	129,2	21,39	16,9	2,8	378,4	62,65	46,12	
	880	29,17	4,93	130,3	22,03	16,25	2,75	370,5	62,68	44,96	
	950	18,6	3,15	118,1	20	15,52	2,63	431,8	73,12	6,491	
Ca	720	0,137	15,06	0,421	46,29	0,03	3,35	0,314	34,5	0,007	
	800	0,19	22,65	0,143	17,04	0,024	2,9	0,336	39,97	0,146	
	880	0,141	16,64	0,196	23,15	0,06	7,13	0,421	49,72	0,028	
	950	0,12	12,41	0,183	18,93	0,048	5	0,611	63,37	0,003	
Mg	720	0,122	18,04	0,262	38,89	0,028	4,22	0,256	37,89	0,006	
	800	0,147	21,27	0,13	18,75	0,045	6,5	0,365	52,87	0,004	
	880	0,114	18,93	0,157	26,04	0,03	5,01	0,302	49,99	0,001	
	950	0,093	15,24	0,187	30,73	0,031	5,05	0,298	48,86	0,001	
S	720	0,042	7,89	0,229	43,42	0,018	3,33	0,239	45,35	0,001	
	800	0,063	10,38	0,142	23,44	0,037	6,16	0,313	51,53	0,052	
	880	0,052	9,38	0,15	27	0,025	4,53	0,328	59	0,001	
	950	0,041	7,49	0,137	25,24	0,027	5,01	0,335	61,9	0,02	

⁽¹⁾ Considerou-se como maturação o período após o início da estabilização no acúmulo de MS no fruto, embora as mudanças de coloração da casca correspondentes a maturação tenham iniciado antes.

O efeito da altitude no acúmulo de matéria seca e de Ca, Mg e S está relacionado, sobretudo, à ocorrência de menores temperaturas máximas nas maiores altitudes (Quadro 4). De acordo com Larcher (2004), a temperatura tem influência direta sobre processos regulatórios da planta. Sob menores temperaturas, a velocidade das reações enzimáticas é reduzida e, consequentemente, as taxas fotossintéticas e respiratórias também são restrinvidas.

A ocorrência de temperaturas amenas desfavorece a absorção de íons pelas raízes. A elevação da temperatura aumenta a velocidade de difusão e de fluxo em massa de íons para as raízes, bem como a penetração de íons no espaço livre aparente via apoplasto, estimula a absorção e o acúmulo de íons nas células das raízes e favorece o transporte nos condutos do xilema. Além disso, o aumento da temperatura acelera a atividade respiratória da planta e incrementa o metabolismo nas raízes e a produção de ATP, liberando energia, que é utilizada de diversos modos para absorção de íons (Marenco & Lopes, 2005).

Além de influenciar os processos de absorção, a temperatura também pode alterar a taxa de transporte de nutrientes, assim como a partição de fatores assimilados no floema. Segundo Taiz & Zeiger

em direção ao dreno. De acordo com Rena (1985), a temperatura ótima para assimilação de carbono no cafeiro varia de 20 a 30 °C, dependendo da temperatura em que as plantas foram aclimatadas nos dias anteriores. Deve-se salientar, entre outros fatores, como disponibilidade hídrica, que pode ter influenciado os resultados. Em janeiro, o índice pluvial foi de apenas 7 mm (Quadro 1) e a altitude 720 m apresenta maior capacidade de retenção de água (Quadro 2).

As variações na concentração de Ca, Mg e S no terceiro e no quarto par de folhas de ramos principais ao longo do ciclo reprodutivo do cafeiro podem ser visualizadas na figura 2 e quadro 10. De maneira geral, na altitude de 950 m a concentração de nutrientes apresentou tendência de se manter comparada à das demais altitudes, durante o período de formação dos frutos. É provável que menores temperaturas ocorridas na altitude 950 m tenham propiciado a ocorrência de menores concentrações, já que a temperatura possui efeitos na absorção e distribuição de nutrientes (Taiz & Zeiger, 2004; Marenco & Lopes, 2005). No entanto, outros fatores, além da temperatura, podem ter um efeito significativo na absorção e distribuição de nutrientes.

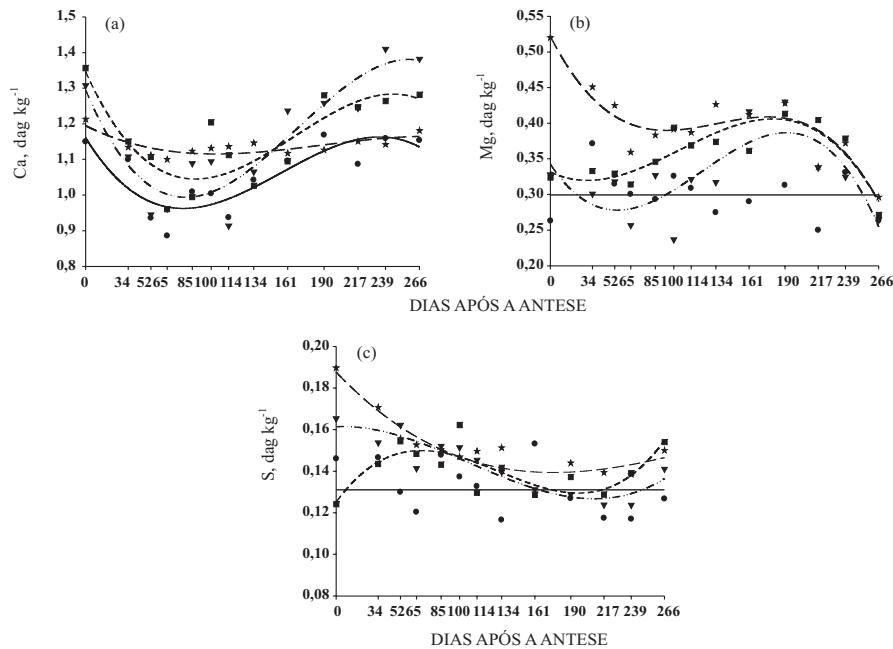


Figura 2. Concentração de Ca (a), Mg (b) e S (c) em folhas de cafeiro em função do tempo decorrido após a antese, em quatro altitudes.

Quadro 10. Equações de regressão da variação nas concentrações de Ca, Mg e S em folhas de cafeiro em função do tempo decorrido após a antese, em quatro altitudes, ponto de mínimo (X_{\min} , DAA)

Variável	Altitude	Modelo	R^2	X_{\min}
Ca	m			
	720	$\hat{y} = 1,194 - 0,00175x + 0,0000116x^2 - 0,0000000207x^3$	0,635	104
	800	$\hat{y} = 1,346 - 0,00782x + 0,0000607x^2 - 0,000000121x^3$	0,712	87
	880	$\hat{y} = 1,295 - 0,00844x + 0,0000693x^2 - 0,000000137x^3$	0,834	80
Mg	950	$\hat{y} = 1,161 - 0,00574x + 0,0000491x^2 - 0,000000104x^3$	0,730	78
	720	$\hat{y} = 0,521 - 0,00341x + 0,0000278x^2 - 0,0000000688x^3$	0,831	266
	800	$\hat{y} = 0,331 - 0,000825x + 0,0000160x^2 - 0,0000000507x^3$	0,751	266
	880	$\hat{y} = 0,342 - 0,00262x + 0,0000311x^2 - 0,0000000844x^3$	0,592	266
S	950	$\hat{y} = \bar{y} = 0,300$	---	---
	720	$\hat{y} = 0,187 - 0,000626x + 0,00000245x^2 - 0,00000000253x^3$	0,876	176
	800	$\hat{y} = 0,125 + 0,000811x - 0,00000793x^2 + 0,0000000199x^3$	0,621	0

ACÚMULO DE NUTRIENTES EM FRUTOS DE CAFEEIRO EM QUATRO ALTITUDES...

Quadro 11. Concentrações foliares de Ca, Mg e S na floração (C_F) comparada às concentrações foliares no momento da TMAD dos elementos para os frutos nos estádios de expansão rápida (C_{ER}) e de granação (C_{GM}), em quatro altitudes

Variável	Altitude	Florada	Crescimento rápido		Granação	
			m	dag kg ⁻¹	dag kg ⁻¹	C_{GM}
Ca	720	1,194		1,116	-0,078	1,115
	800	1,346		1,053	-0,293	1,269
	880	1,295		0,994	-0,301	1,042
	950	1,161		0,963	-0,198	1,156
Mg	720	0,521		0,394	-0,127	0,393
	800	0,331		0,334	+0,003	0,393
	880	0,342		0,281	-0,061	0,351
	950	0,300		0,300	0	0,300
S	720	0,187		0,149	-0,038	0,140
	800	0,125		0,149	+0,024	0,131
	880	0,161		0,150	-0,011	0,133
	950	0,132		0,132	0	0,132

concentrações foliares dos elementos nos respectivos momentos de máxima taxa de acúmulo diário (TMAD) para os frutos nos estádios de rápida expansão e granação. Observa-se que a concentração de Ca nas folhas diminuiu nos momentos das TMAD para o fruto, independentemente da altitude. Essas observações mostram que houve competição fruto/folha pela participação de Ca. Essa competição ocorreu pelo nutriente translocado no xilema, já que o Ca é um nutriente imóvel no floema (Marchsnar, 1995; Epstein & Bloom, 2006). Quanto a Mg e S, observou-se competição fruto/folha nos dois períodos de maior demanda pelo nutriente apenas na altitude de 720 m. A maior velocidade de acúmulo nos frutos na menor altitude pode ter contribuído para que houvesse maior pressão de competição, já que os frutos são drenos prioritários (Rena & Maestri, 1985).

CONCLUSÕES

1. A altitude teve influência na extensão do ciclo do cafeiro, bem como no acúmulo de Ca, Mg e S em frutos.

2. A TMAD (taxa máxima de acúmulo diário) no estádio de granação apresentou tendência de ser mais tardia com a elevação da altitude.

4. Na menor altitude, o acúmulo de Ca, Mg e S nos frutos apresentou-se mais precoce.

5. De modo geral, na altitude de 720 m, houve maior competição fruto/folha pela participação de Ca, Mg e S.

AGRADECIMENTOS

Ao Consórcio Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (CNP&D-Café) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro.

LITERATURA CITADA

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis. 12.ed. Washington, 1975. 1094p.
- CAMARGO, A.P. As oito fases fenológicas da florada do cafeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 24., Poços de Caldas, 1992. Anais. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro do Cacau, v.1, p.41-42.
- CAMARGO, A.P. & CAMARGO, M.B.P. Descrição esquematizada das fases fenológicas do cafeiro sob diferentes condições tropicais do Brasil. Bragantia, 60(1): 1-12, 2001.

- CANNEL, M.G.R. Seasonal patterns of growth and development of arabica coffee in Kenya. Part IV. Effects of seasonal differences in rainfall on bean size. *Kenya Coffee*, 36:175-180, 1971a.
- COOMBE, B.G. The development of fleshy fruits. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 27:507-28, 1976.
- EPSTEIN, E. & BLOOM, A.J. Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas. 2.ed. Londrina, Planta, 2006. 401p.
- GOUVEIA, N.M. Estudo da diferenciação e crescimento das gemas florais de *Coffea arabica* L.: Observação sobre antese e maturação dos frutos. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 1984. 237p. (Tese de Mestrado)
- GUIMARÃES, P.T.G.; GARCIA, A.W.R.; ALVAREZ V., V.H.; PREZOTTI, L.C.; VIANA, A.S.; MIGUEL, A.E.; MALAVOLTA, E.; CORRÉA, J.B., LOPES, A.S.; NOGUEIRA, F.D. & MONTEIRO, A.V.C. Cafeiro. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H., eds. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais, 5^a Aproximação. Viçosa, MG, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG, 1999. p.289-302.
- JACSON, M.L. Soil chemical analysis. New Jersey, Prentice Hall, 1958. 498p.
- JOHNSON, C.M. & ULRICH, A. Analytical methods for use in plants analyses. Los Angeles, University of California, 1959. v.766. p.32-33.
- JONES JUNIOR, J.B.; WOLF, B. & MILLS, H.A. Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide. Athens, Micro-Macro Publishing, 1991. 213p.
- LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. São Carlos, RiMa, 2004. 531p.
- LAVIOLA, B.G.; MARTINEZ, H.E.P.; SOUZA, R.G. & ALVAREZ V., V.H. Dinâmica de cálcio em folhas e frutos de cafeiro arábico em três níveis de adubação. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:319-329, 2007.
- LEON, J. & FOURNIER, L. Crecimiento y desarrollo de *Coffea arabica*. Turrialba, 12:65-74, 1962.
- MARENCO, R.A. & LOPES, N.F. Fisiologia da Fotossíntese, respiração, relações hidrálicas e mineral. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005. 451p.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. New York, Academic Press, 1995. 889p.
- MATIELLO, J.B.; SANTIAGO, R.; GARCIA, A.W.R.; ALMEIDA, S.R. & FERNANDES, D.R. Cultura do cafeiro no Brasil: Novo manual de recomendações. Rio de Janeiro, MAPA /PROCAFE, 2005. 438p.
- MORAES, F.R.P. & CATANI, R.A. A absorção de minerais pelo fruto do cafeiro durante o desenvolvimento. In: REUNIÃO ANUAL DE RESUMOS DAS COMUNICAÇÕES À XVI REUNIÃO ANUAL DE CIÊNCIAS DA CULTURA, 16:142, 1964.
- PUSCHMANN, R. Características bioquímicas do cafeiro (*Coffea arabica* L.) durante a maturação. MG, Universidade Federal de Viçosa, 1975. 302p. (Tese de Mestrado)
- RAMÍREZ, F.; BERTSCH, F. & MORA, L. C. Absorción de nutrientes por los frutos y bandolas de cafeiro durante um ciclo de desarrollo y maduración en Costa Rica. Turrialba, Costa Rica. Agron. Costarricense, 2002.
- RENA, A.B. & MAESTRI, M. Fisiología do cafeiro. Agropec., 11:26-40, 1985.
- RENA, A.B.; BARROS, R.S. & MAESTRI, M. Desenvolvimento reprodutivo do cafeiro. In: ZAMBOLIM, L. de produção de café com qualidade. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2001. p.101-110.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. Fisiología vegetal. 3.ed. Ed. Artmed, 2004.719p.
- VENEGAS, J.G.; HARRIS, R.S. & SIMON, B.A. A computer program for calculating the pulmonary pressure equation for the pulmonary pressure. *Volumetry and Applied Physiology*, 84:389-395, 1998.