



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbc.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 CAFEIEIRO 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 CAFEIEIRO EM QUATRO ALTITUDES DE CULTIVO: CÁLCIO, MAGNÉSIO E ENXOFRE⁽¹⁾

Bruno Galvêas 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 cafeeiro Catuaí 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 cafeeiro, pois houve demanda de maior tempo para formação dos frutos. No estágio 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 estágio 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 partição 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 publicado em 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). E-mail: herminia@ufv.br; lcsalomao@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 from 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 Catuaí 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 cafeeiro 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 cafeeiro 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 cafeeiro 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 estágio, o acúmulo de matéria seca pelo fruto perdurou até o momento da colheita.

Durante a formação do fruto do cafeeiro 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 chuvas pequenas, aumentando significativamente a passagem dos frutos para o estágio verde-amarelo-granação (verde-sólido), até a maturação completa. Cerca de 73 % do crescimento vegetativo ocorre entre outubro e abril, sendo o consumo de nutrientes para a frutificação também concentrado nesse período (de 80 %).

As curvas de acúmulo de nutrientes em cafeeiro 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 cafeeiro é cultivado em regiões com altitudes que variam de 1.200 m (Matiello et al., 2005). Em regiões de maior altitude, a planta de cafeeiro leva maior tempo para completar o ciclo reprodutivo. A influência do clima no ciclo reprodutivo do cafeeiro está relacionada principalmente, às temperaturas mais altas em maiores altitudes.

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

Foi objetivo deste trabalho o estudo do consumo de Ca, Mg e S em frutos de cafeeiro arábica

ACÚMULO DE NUTRIENTES EM FRUTOS DE CAFEIEIRO 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, 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 bloco de parcelas subdivididas no tempo, com 12 parcelas (altitudes), 12 subparcelas (amostragens) e três repetições. Para cada parcela foram selecionadas 20 plantas, dispostas em três fileiras, que constituíram as parcelas experimentais.

As amostragens iniciaram-se em 11 de agosto de 2005, quando houve antese floral, ocasião em que coletaram folhas e flores, sendo este considerado o dia zero. A partir dessa data efetuaram-se coletas periódicas de folhas e frutos durante o desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro, aos 34, 52, 65, 85, 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⁺
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	S	V	Zn	Fe	Mn	Cu
	cmol _c dm ⁻³	mg dm ⁻³	%			mg dm ⁻³	
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	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
m	kg ha ⁻¹		
720	390	0	200
800	400	0	150
880	400	0	150
950	370	0	70

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

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

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

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

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 concentração de nutrientes em folhas, utilizaram-se modelos 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 $a = y_{\text{max}} - y_{\text{min}}$
 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 cafeeiro, 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 estágio de formação do fruto, sendo os valores em porcentagem obtidos em relação ao acúmulo final alcançado.

$$ARE = A_f - A_i$$

ARE = acúmulo relativo no estágio de formação do fruto

A_f e A_i = acúmulo no final e início do estágio

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

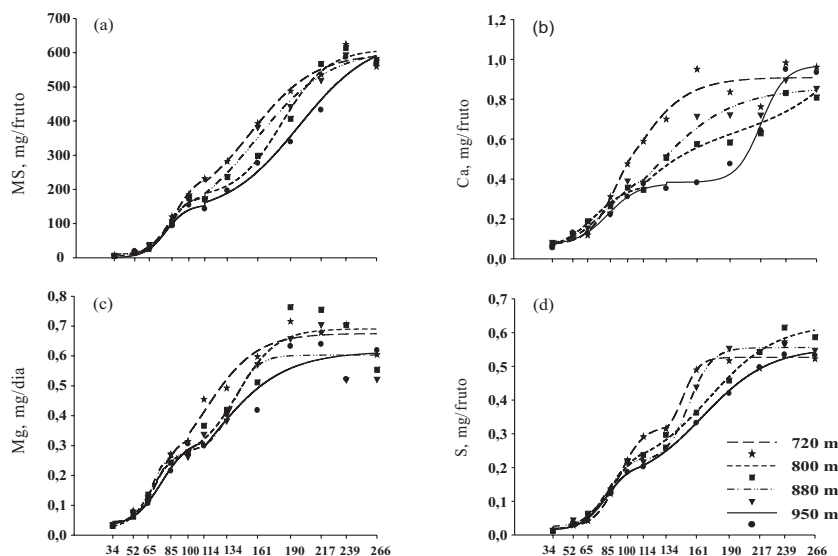
AT = acúmulo alcançado aos 266 DAA

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

RESULTADOS E DISCUSSÃO

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

No estágio de chumbinho, os frutos apresentam baixa taxa de crescimento (acúmulo de matéria seca e nutrientes) porém elevada taxa respiratória e de multiplicação celular (Leon & Fournier, 1962; Cannel, 1972). No estágio de expansão rápida, o acúmulo de matéria seca e nutrientes apresentou duração variando entre 11 a 16 DAA (11 a 16/12/2005) (Quadro 7). Não se observou efeito do aumento crescente da altitude no acúmulo de MS, Ca, Mg e S em frutos de chumbinho no estágio de chumbinho (Figura 1; Quadro 6). É possível que os efeitos da altitude, principalmente os relacionados à temperatura (Quadro 4), influenciem o acúmulo de nutrientes, especialmente nas primeiras semanas de formação dos frutos de café.



Quadro 6. Equações de regressão do acúmulo de MS e Ca, Mg e S em frutos de cafeeiros em função do tempo 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	$\hat{y} = 0,14762+0,40801/(1+\exp(-(x-166,669)/29,5987))$	

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

Quadro 7. Delimitação dos estádios de desenvolvimento do fruto de cafeeiro (DAA) durante o período 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)	211-266 (55)
800	0-67 (67)	67-100 (33)	100-114 (14)	114-222 (108)	222-266 (44)
880	0-63 (63)	63-99 (36)	99-114 (15)	114-224 (110)	224-266 (42)
950	0-61 (61)	61-98 (37)	98-114 (17)	114-262 (148)	262-266 (4)

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

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

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 (Marengo & 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, conseqüentemente, 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.

relacionada à reciclagem e síntese de compostos intermediários (Taiz & Zeiger, 2000) empregados na síntese de polímeros de parede, a 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 (01/2006) na altitude de 720 m e até 262 DAA (03/2006) na de 950 m. Em outras palavras, o ciclo reprodutivo do cafeeiro foi maior com o aumento da altitude, provável que a ocorrência de menores temperaturas máximas (Quadro 4) tenha influenciado a atividade enzimáticas e o transporte de fotoassimilados (Coombe, 2004), ampliando o tempo de formação do fruto do cafeeiro.

No estádio de granação, também chamado de enchimento do endosperma, a matéria seca é acumulada, 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 altitude de 950 m. A 720 m de altitude, a X_{TMAD} de MS ocorreu aos 154 DAA (06/02/2006); a de Ca, aos 99 DAA (12/12/2005); a de Mg, aos 128 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 (01/02/2006) para MS, aos 217 DAA para Ca (10/02/2006), aos 117 DAA (30/12/2006) para Mg e aos 167 DAA para S. Esses foram os momentos de maior atividade nutricional do cafeeiro no estádio de granação nas 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, 2005).

A estabilização (PC_{max}) no acúmulo de matéria seca no estádio de granação ocorreu em menor tempo na altitude de 720 m, confrontada com a altitude de 950 m (Quadro 8). Além disso, o acúmulo de matéria seca estabilizou-se antes do acúmulo de MS em frutos. Ou seja, primeiro são acumulados os nutrientes, depois completar os processos de formação do fruto. O consumo de nutrientes pelos frutos, como o enchimento de grãos, é mais celerado nas condições de menor altitude, já que a planta necessita completar esses processos em menor espaço de tempo.

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

Após o estádio de granação iniciou a maturação, que se caracteriza, principalmente, pelo aumento do teor de açúcares e por mudança na coloração da casca do fruto (Puschmann, 1999; et al., 2001). Apesar de no quadro 7 o estádio de maturação ter ido até 266 DAA (época de colheita), a maturação completa ocorreu aos 266 DAA (época de colheita).

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

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

Variável	Altitude	Ganho de acúmulo									
		Chumbinho		Exp. rápida		Cresc. susp.		Granação		Maturação	
	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, conseqüentemente, as taxas fotossintéticas e respiratórias também são restringidas.

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 fotoassimilados no floema. Segundo Taiz & Zeiger

(1985), a temperatura ótima para assimilação no cafeeiro 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 ter influenciado os resultados. Em janeiro o índice pluviométrico foi de apenas 7 mm (Quadro 2). A altitude de 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 produzidos ao longo do ciclo reprodutivo do cafeeiro foram visualizadas na figura 2 e quadro 10. De modo geral, na altitude de 950 m a concentração de nutrientes apresentou tendência de ser menor comparada à das demais altitudes, durante o período de formação dos frutos. É provável que as menores temperaturas ocorridas na altitude de 950 m tenham propiciado a ocorrência de menores concentrações, já que a temperatura possui influência na absorção e distribuição de nutrientes (Taiz & Zeiger, 2004; Marenco & Lopes, 2005). No entanto, outros fatores, além da temperatura, podem ter influenciado, conjuntamente na absorção e distribuição de nutrientes.

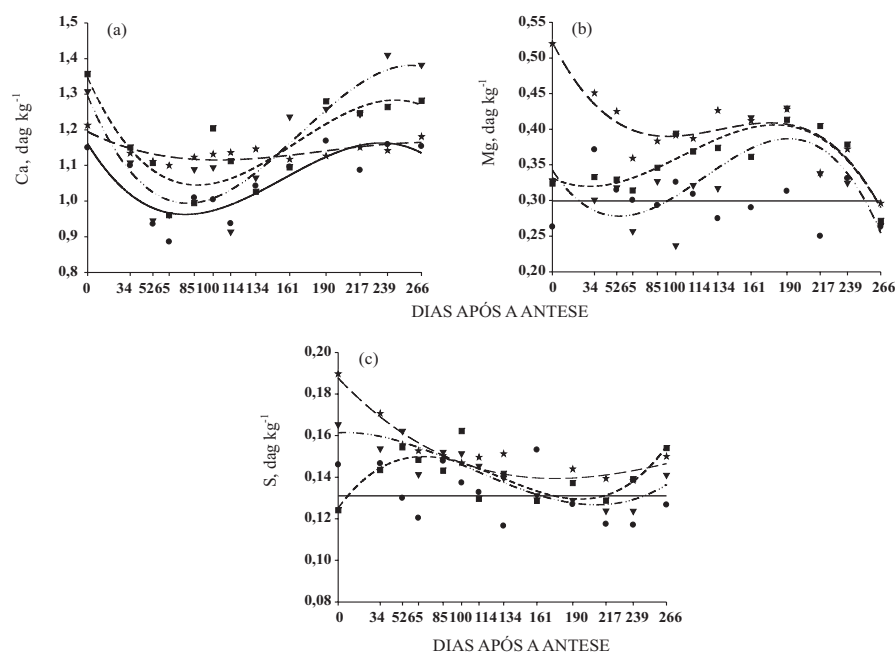


Figura 2. Concentração de Ca (a), Mg (b) e S (c) em folhas de café em função do tempo decorrido após a antese, em quatro altitudes.

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

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

Variável	Altitude	Florada	Crescimento rápido		Granação	
	m	dag kg ⁻¹	dag kg ⁻¹	$C_{ER} - C_F$	dag kg ⁻¹	$C_{GM} - C_{ER}$
Ca	720	1,194	1,116	-0,078	1,115	-0,001
	800	1,346	1,053	-0,293	1,269	-0,026
	880	1,295	0,994	-0,301	1,042	-0,259
	950	1,161	0,963	-0,198	1,156	-0,007
Mg	720	0,521	0,394	-0,127	0,393	-0,004
	800	0,331	0,334	+0,003	0,393	+0,062
	880	0,342	0,281	-0,061	0,351	+0,010
	950	0,300	0,300	0	0,300	0
S	720	0,187	0,149	-0,038	0,140	-0,003
	800	0,125	0,149	+0,024	0,131	+0,006
	880	0,161	0,150	-0,011	0,133	-0,028
	950	0,132	0,132	0	0,132	0

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 partição de Ca. Essa competição ocorreu pelo nutriente translocado no xilema, já que o Ca é um nutriente imóvel no floema (Marchsner, 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 cafeeiro, 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 em frutos apresentou-se mais precoce.

5. De modo geral, na altitude de 720 m houve maior competição fruto/folha pela partição 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 pelo apoio financeiro.

LITERATURA CITADA

- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. AOAC. Official methods of analysis. 12.ed. Washington, 1975. 1094p.
- CAMARGO, A.P. As oito fases fenológicas da frutificação do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 24., Poços de Caldas, 1975. Anais. Rio de Janeiro, Instituto Brasileiro de Café, v.1. p.41-42.
- CAMARGO, A.P. & CAMARGO, M.B.P. Drenos e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro em condições tropicais do Brasil. Bragantia, 60(1): 1-10, 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.; 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., eds. *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 – 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 cafeeiro 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: Fotossíntese, respiração, relações hídricas 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.; ALMEIDA, S.R. & FERNANDES, D.R. *Cultivo do cafeeiro no Brasil: Novo manual de recomendações*. Rio de Janeiro, MAPA /PROCAFE, 2005. 438p.
- MORAES, F.R.P. & CATANI, R.A. A absorção de nutrientes minerais pelo fruto do cafeeiro durante o desenvolvimento. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS. Resumos das comunicações à XVI Reunião Anual. *Ci.Cult.*, 16:142, 1964.
- PUSCHMANN, R. Características bioquímicas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) durante a maturação. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1975. 30p. (Mestrado)
- RAMÍREZ, F.; BERTSCH, F. & MORA, L. C. Nutrientes por los frutos y bandolas de cafeeiro durante um ciclo de desarrollo y maduración en Turrialba, Costa Rica. *Agron. Costarricense*, 2002.
- RENA, A.B. & MAESTRI, M. *Fisiologia do cafeeiro*. Agropec., 11:26-40, 1985.
- RENA, A.B.; BARROS, R.S. & MAESTRI, M. Desempenho reprodutivo do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. *Produção de café com qualidade*. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2001. p.101-108.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. 3.ed. P. Artmed, 2004.719p.
- VENEGAS, J.G.; HARRIS, R.S. & SIMON, B.A. A control equation for the pulmonary pressure. *Volunt. Appl. Physiol.*, 84:389-395, 1998.